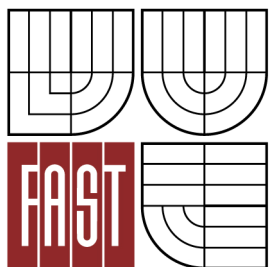




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING TESTING

PRŮZKUMY A HODNOCENÍ KONSTRUKCÍ Z KAMENE

THE SURVEY AND ASSESSMENT OF STONE CONSTRUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Pavla Šarounová

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR CIKRLE, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav stavebního zkušebnictví

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Pavla Šarounová
Název	Průzkumy a hodnocení konstrukcí z kamene
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Petr Cikrle, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2011
Datum odevzdání bakalářské práce	25. 5. 2012
V Brně dne 30. 11. 2011	

prof. Ing. Leonard Hobst, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Hobst, L., Adámek, J., Cikrle, P., Schmid, P. Diagnostika stavebních konstrukcí. Studijní opora, VUT v Brně FAST, 2005.

Pume, D., Čermák, F. a kol. Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí. 1. vydání Praha: ARCH, 1998.

Holický, M. a kol. Příručka pro hodnocení existujících konstrukcí. 1. vydání Praha: ČVUT, 2007.

Škabrada, J., Konstrukce historických staveb, Praha, Argo, 2007

Kohout, J., Tobek, A., Barták, K., Zednictví - tradice z pohledu dneška. VII. vydání Praha, Grada, 1998

ČSN ISO 13822 a další platné normy.

Zásady pro vypracování

Zásady pro vypracování

Rešerše podkladů - popis konstrukčních systémů zdiva z kamene, materiály používané na našem území.

Metodiky zkoušení stavebního kamene v laboratoři a in situ.

Zpracování stručné a přehledné metodiky hodnocení kamenných konstrukcí podle zásad ČSN ISO 13822.

Praktický příklad předběžného hodnocení a návrhu průzkumu zadané kamenné konstrukce nebo její části.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací



.....
Ing. Petr Cikrle, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Práce se zabývá aplikací postupu hodnocení existujících konstrukcí z normy ČSN ISO 13822 na posuzování kamenných konstrukcí. K těm je zde přistupováno jako ke konstrukcím zděným, avšak s určitými specifiky. Vzhledem k tomu, že tato specifika vyplývají zejména z přírodního původu stavebního materiálu a ze značného stáří dochovaných kamenných staveb, jsou k jejich hodnocení nezbytné znalosti i z oboru geologie a dějin stavitelství. Proto tato práce obsahuje také geologický přehled hornin využívaných ve stavebnictví a popisuje charakteristické znaky kamenných staveb z různých slohových období. Cílem praktické části je popsat předběžný průzkum existující kamenné konstrukce na příkladě kamenného mostu v Dobromilicích.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hodnocení existujících konstrukcí, kamenné konstrukce, zděné konstrukce, vazba zdiva, zkoušky přírodního kamene

ABSTRACT

This thesis is focused on applying the process of the assessment of existing structures from ČSN ISO 13822 on the evaluation of stone constructions. These are seen here as masonry structures, but with some specifics. Since the source of this specifics results from the natural origin of the building material and significant age of preserved stone structures, to its evaluation also the knowledge of geology and history of architecture is necessary. For this reason, this thesis contains also the geological overview of rocks used for building and describes characteristics of stone structures from different architectural periods. The aim of the practical part is to describe preliminary investigation of an existing stone construction on the example of the stone bridge in Dobromilice.

KEYWORDS

Assessment of existing structures, stone structures, masonry structures, masonry bond, natural stone test methods

ŠAROUNOVÁ, P. *Průzkumy a hodnocení konstrukcí z kamene*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Ústav stavebního zkušebnictví, 2012. 69 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Petr Cikrle, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně, a že jsem uvedla všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Cikrlovi, Ph.D. za přínosnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování této bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

1	ÚVOD	10
1.1	ÚVODNÍ SLOVO	10
1.2	CÍLE PRÁCE	11
2	TEORETICKÁ ČÁST.....	12
2.1	GEOLOGICKÝ PŘEHLED A TYPY KONSTRUKCÍ Z KAMENE	12
2.2	APLIKACE POSTUPU HODNOCENÍ KAMENNÝCH KONSTRUKCÍ PODLE ČSN ISO 13822	32
2.3	PŘEHLED METOD PRO ZKOUŠENÍ KAMENE	39
2.4	VÝPOČET PEVNOSTI ZDIVA PODLE ČSN 731101 A ČSN EN 1996-1-1	46
3	PŘEDBĚŽNÝ PRŮZKUM KAMENNÉHO MOSTU V DOBROMILICÍCH..	54
3.1	PŘEDBĚŽNÁ PROHLÍDKA	54
3.2	NÁVRH PODROBNÉHO PRŮZKUMU	61
4	ZÁVĚR	63
5	POUŽITÁ LITERATURA	64
6	SEZNAM OBRÁZKŮ	66
7	SEZNAM TABULEK.....	68
8	SEZNAM GRAFŮ	69

1 ÚVOD

1.1 ÚVODNÍ SLOVO

Na území České republiky se nachází množství starých staveb, jejichž zachování je z mnoha důvodů žádoucí. Tyto stavby jsou přínosné jak svou historickou a estetickou hodnotou, tak i z hlediska sociálního, ekonomického a politického. Hodnocení existujících konstrukcí hraje klíčovou roli v procesu prodloužení doby jejich provozuschopnosti v souladu se zásadami trvale udržitelného rozvoje [9].

Norma ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí [9] popisuje obecné požadavky a postupy, vycházející ze zásad spolehlivosti konstrukcí a z následků jejich poruch. Tuto normu je možno obecně použít pro hodnocení stávajících konstrukcí z libovolného materiálu, ovšem v závislosti na druhu materiálu může být požadována i specifická úprava [9]. Součástí ČSN ISO 13822 jsou Národní přílohy, které uvádí doplňující pokyny k obecným zásadám hodnocení existujících konstrukcí betonových, ocelových, dřevěných a zděných. V praxi však často vyvstává potřeba posoudit stavby, jejichž konstrukce se sice dají považovat za zděné, avšak ze zcela specifického stavebního materiálu, který je v uvedené normě bohužel opomenut – přírodního stavebního kamene.

Při řešení této problematiky je třeba mít na paměti určité charakteristiky kamenných staveb. Většinou jde o konstrukce velmi staré, často již v minulosti rekonstruované, například nahrazením části konstrukce novým kamenem, plombováním starých kamenů atd. Také je třeba vzít v potaz přírodní původ stavebního materiálu. Kámen je materiál heterogenní a anizotropní, jehož fyzikální, mechanické i chemické vlastnosti značně závisí na jeho původu. A to nejen z hlediska genetického (podle nějž se v geologii dělí horniny na magmatické, sedimentární a metamorfované), ale také z hlediska geografického. Je známo, že kámen jako stavební materiál prokazuje největší odolnost právě tehdy, je – li použit v podobných klimatických podmínkách, jaké panují v místě jeho vytěžení. Rovněž i kameny stejného druhu, ale z jiných lokalit, mohou vykazovat značně odlišné vlastnosti, což je typické zejména pro pískovce [5].

Z těchto skutečností vyplývá, že ačkoli hovoříme o konstrukcích z kamene jako o zděných z kusového staviva, jejich hodnocení vyžaduje zcela specifický přístup. Tato bakalářská práce přináší shrnutí charakteristik a zvláštností kamenných konstrukcí, a to jak z pohledu materiálových vlastností a konstrukčních systémů, tak i v oblasti problematiky hodnocení existujících konstrukcí. Právě zde se opírá o postupy uvedené v ČSN ISO 13822 a uvádí jejich možnou aplikaci při průzkumech a hodnocení konstrukcí z kamene.

1.2 CÍLE PRÁCE

- Petrografický rozbor stavebních kamenů používaných na našem území
- Popis typů konstrukcí z kamene a jejich vlastností
- Aplikace postupu hodnocení konstrukce z ČSN ISO 13822
- Metodiky zkoušení stavebního kamene
- Praktický příklad předběžného průzkumu kamenné konstrukce

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 GEOLOGICKÝ PŘEHLED A TYPY KONSTRUKCÍ Z KAMENE

Problematika hodnocení stávajících konstrukcí vyžaduje široké spektrum odborných znalostí. Kromě orientace v dříve používaných normách a stavebních předpisech je také nutné znát vlastnosti historických konstrukčních systémů a stavebních materiálů. V případě konstrukcí z kamene jde zejména o znalosti z oboru geologie, zejména petrografie. Následující kapitoly uvádí stručný přehled horninových materiálů i zásady využití kamene jako stavebního prvku.

2.1.1 Geologický přehled

Protože fyzikální, mechanické i chemické vlastnosti stavebního kamene závisí na jeho původu, je důležité jej správně určit. Klíčovými ukazateli pro makroskopické určování hornin jsou struktura, minerální složení a v některých případech (makroskopicky celistvé horniny bez možnosti rozlišení jednotlivých minerálů) i barva. Pro kompletní petrografické zatřídění je třeba určit i původ horniny, její název a stupeň zvětrání [6].

Podle tzv. genetického hlediska rozlišujeme tři základní skupiny hornin: magmatické (vyvřelé), sedimentární (usazené) a metamorfované (přeměněné). Toto členění je založeno na základě vlivu geologických podmínek a prostředí, ve kterém horniny vznikaly [6].

Horniny magmatické

Vznikly krystalizací magmatu pod zemským povrchem (horniny intruzivní) nebo na povrchu (extruzivní). Vyznačují se obvykle všesměrnou strukturou, zrnitost je dána dobou tuhnutí (hrubo zrnné tuhly podstatně delší dobu než jemnozrnné). Esteticky zajímavé jsou i horniny s porfyrickou strukturou, kdy je jejich stejnoměrný vzhled narušen ojedinělými vyrostlicemi [6].

Jak ukazují tabulky 2.1-1 a 2.1-2, magmatické horniny obecně mají oproti horninám sedimentárním o něco lepší fyzikálně mechanické vlastnosti – například

vyšší pevnost v prostém tlaku i v tahu za ohybu. Nižší pórovitost zaručuje také lepší odolnost vůči vlivům okolního prostředí.

Norma ČSN 72 1800 Přírodní stavební kámen pro kamenické výrobky – Technické požadavky [11] dělí magmatické horniny používané v kamenické výrobě na čtyři skupiny – hlubinné světlé, hlubinné tmavé, výlevné hutné a výlevné pórovité.

a) Hlubinné světlé

Granit (žula): Společně s granodioritem je nejčastěji se vyskytující hlubinnou vyvřelinou na zemském povrchu. Světlé minerály jsou zastoupeny z 20 – 60 % křemenem, z množství přítomných živců převažují K – živce nad plagioklasy (sodnovápenatými živci). Téměř vždy granit obsahuje okolo 5 – 15 % biotitu, u některých druhů se vyskytuje i muskovit. Ojedinele mohou žuly obsahovat i turmalín nebo granát. Struktura horniny je středně zrnitá až hrubozrnná. U některých typů se vyskytují porfyrické vyrostlice živce (liberecká žula, obr. 2.1-1). Barva granitu je převážně světlešedá, mohou se ale vyskytovat i různé barevné pigmentace (železnobrodská žula, obr. 2.1-1) [6], [11].

Granit je velmi vhodným materiálem pro hrubé i ušlechtilé kamenické zpracování.



Obrázek 2.1-1 Barevné varianty žuly. Vlevo: liberecká, vpravo: železnobrodská [19]

Granodiorit: Minerální složení je obdobné jako u granitu, s rozdílem v převaze plagioklasů nad K – živci a častějším výskytem obecného amfibolu. Strukturou i ostatními znaky jsou granodiority rovněž podobné žulám, mají ale obvykle tmavší zbarvení [11].

Díky svým výborným technickým vlastnostem je granodiorit jednou z nejlepších hornin pro využití jako stavební kámen.

Syenit: Je charakteristický velmi nízkým až nulovým podílem křemene (tvoří max. 5% světlých minerálů). Stejně jako u granitu převažují živce nad plagioklasy. Tmavé minerály jsou nejčastěji zastoupeny biotitem a amfibolem. Syenit se vyznačuje středně zrnitou až hrubozrnnou strukturou. Zbarvení může být různé, většinou ale tmavší než u granitu [6], [11].

b) Hlubinné tmavé

Diorit: V minerálním složení převažují plagioklasy, světlé minerály jsou tvořeny z 5% křemenem. Díky hojně zastoupeným tmavým minerálům (převážně amfibolu, méně pak biotitu a pyroxenu) je diorit nejčastěji zbarven tmavě až černošedě. Nejčastěji bývá drobně a stejnoměrně zrnitý [11].

Gabro: Z živců opět převládá plagioklas, tmavé minerály jsou nejčastěji tvořeny pyroxenem, amfibolem, biotitem a olivínem. Struktura je stejnoměrně středně až hrubozrnná. Gabro je charakteristické černou až černošedou barvou, která může někdy přecházet i do šedozelené díky přítomnosti olivínu [11].

Díky barevným odleskům na štěpných plochách plagioklasu se používá nejen jako stavební ale i dekorační kámen.

c) Výlevné hutné

Andezit: Má stejné modální složení jako diorit. Porfyrickou strukturu tvoří nejčastěji vyrostlice plagioklasu a jednoho z tmavých minerálů (amfibolu nebo pyroxenu). Barvy mohou být různé – šedá, nazelenalá, červenavá aj [11].

d) Výlevné pórovité

Trachyt: Modální složení je stejné jako u syenitu. Trachyt je jemnozrnný, charakteristické jsou výrazné vyrostlice živců a drsný povrch. Zbarvení je obvykle světlé až světlešedé, šedobílé až nažloutlé [11].

Ryolit: Má stejné modální složení jako žuly. Vyskytuje se jak ve struktuře porfyrické, kde vyrostlice převážně tvoří křemen nebo biotit, tak i pórovité. Může mít velmi rozmanité zbarvení – šedé, slabě růžové až fialové, nazelenalé nebo načervenalé [11].

Horniny sedimentární

Na počátku procesu vzniku sedimentárních hornin bylo zvětrávání hornin magmatických, metamorfovaných nebo starších sedimentárních. Zvětralý materiál byl poté roznášen pomocí transportních činitelů (voda, vzduch, ledovec) v podobě klastických částic (úlomků horniny) nebo formou roztoků. V různých sedimentačních prostředích (mořské, říční, jezerní...) následně docházelo k usazování přeneseného materiálu. U sedimentů klastických se jednalo o hromadění klastických částic, zatímco u sedimentů biochemických docházelo ke srážení minerálů z roztoku. Skalní horniny prošly navíc fází zpevňování, a to buď stlačením vlivem tíhy nadloží, nebo chemickou cestou – cementací [6].

V tabulkách 2.1-1 a 2.1-2 je vidět, že obecně sedimentární horniny dosahují nižších pevností v tlaku i v tahu za ohybu než horniny magmatické a metamorfované. Díky charakteristikám procesu vzniku mohou mít horniny stejného druhu velmi rozdílné vlastnosti v závislosti na místě jejich výskytu.

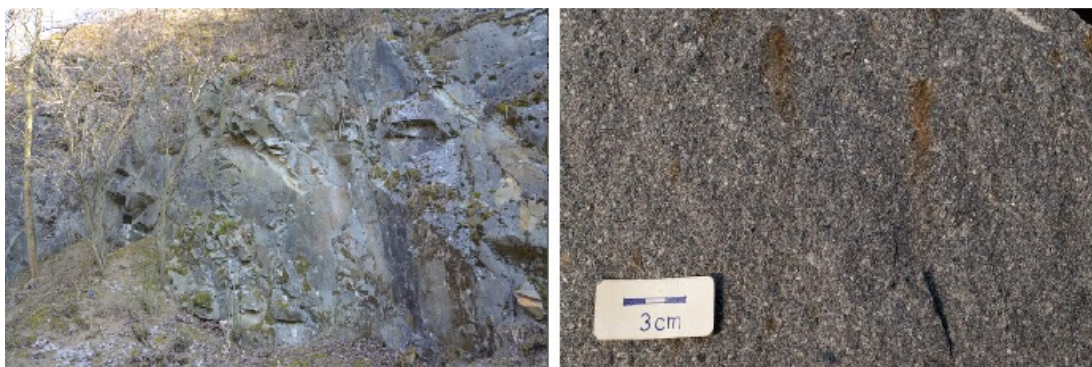
Norma ČSN 72 1800 dělí sedimentární horniny vhodné ke kamenickému zpracování na pět skupin – klastické hutné, klastické pórovité, klastické vrstevnaté, karbonátové pórovité a karbonátové hutné [11].

a) Klastické hutné

Pískovec: Je tvořen převážně zrny křemene, tmelenými různými tmely. Struktura pískovce je psamitická, velikost úlomků se tedy pohybuje mezi 2 až 0,006 mm. Označují se podle typu pojiva – křemenné jsou charakteristické bělavou barvou, hematitové jsou hnědočervené, glaukonitové šedozelené, vápnité žlutošedé a limonitové rezavé [6], [11].

Droba: Obsahuje kromě zrn minerálů i úlomky hornin, nejčastěji jílovitých břidlic. Díky tomu, že je jílovitá hmota slabě metamorfovaná, vyznačuje se droba velmi vysokou pevností a houževnatostí. Struktura je stejně jako u pískovce psamitická. V čerstvém stavu po vytěžení má droba šedou až modrošedou barvu, zvětráváním přibývá hnědé až rezavohnědé (obr. 2.1-2) [6], [11].

Na Moravě je droba jedním z nejpoužívanějších stavebních kamenů – byla využívána jako stavební kámen na zdivo, obrubníky, patníky i jako drcené kamenivo.



Obrázek 2.1-2 Droba. Vlevo: přirozené uložení v lomu [39], vpravo: starší vzorek [24]

Slepenec: Je charakteristický psefitickou strukturou, čili obsahem úlomků jednoho nebo i více druhů hornin větších než 2 mm. Podle typu pojiva se dělí na křemité, krevelové, limonitové a vápnité [6], [11].

b) Klastické pórovité

Pórovitý písekovec: Je písekovec s nasákavostí větší než 3,0 % hmotnosti.

Opuka: Je vžitý název pro písčité slínovec bílé až nažloutlé barvy. Typickým znakem je příměs mikroskopických jehlic mořských hub, jejichž množství ovlivňuje trvanlivost a pevnost opuky [6], [11].

Jako stavební kámen byla oblíbena zejména v okolí Prahy. Jejím charakteristickým znakem je postupné „opukávání“, jež má za následek odlučování omítky. Díky této vlastnosti byla nahrazována pískovcem [1].

c) Klastické vrstevnaté

Jílovité břidlice: Mají pelitickou strukturu – zrna úlomků jsou menší než 0,002mm. Charakteristickým znakem je dobrá štípatelnost na tenké desky. Barva břidlice se pohybuje mezi odstíny šedé až po černošedou [6], [11].

Ve stavebnictví se využívají například jako střešní krytina, dlažební kámen, nebo i k vnějším obkladům.

d) Karbonátové pórovité

Travertin: Je sladkovodní vápenec, který vzniká srážením z pramenitých krasových nebo minerálních vod. Postupně vytváří tzv. travertinové kupy, které rostou, dokud pramen nepřestane vyvěrat, a mohou dosahovat velikosti až několika set metrů.

Travertin se vyznačuje šedožlutou až žlutohnědou barvou, výraznou vrstevnatostí a pórovitostí [6], [11].

Využívá se k výrobě leštěných obkladových desek, kvůli pórovitosti je však diskutabilní jeho použití v exteriérech [6].

e) Karbonátové hutné

Vápenec: Chemogenní vápence jsou složeny převážně z kalcitu. Mají zdánlivě makroskopicky celistvou strukturu, ve skutečnosti je hmota horniny složena z mikroskopických zrn. Organogenní vápence vznikaly nahromaděním schránek živočichů nebo částí rostlin. Na rozdíl od chemogenních vápenců nikdy nemají makroskopicky celistvou strukturu a někdy mohou být i pórovité. Čisté vápence mají bílou až světlešedou barvu, většinou ale obsahují příměsi, které je různě přibarvují. Charakteristické jsou také žilky, které nemají původní zbarvení horniny – jsou převážně bílé, vzniklé sekundárně. Pro dobrou opracovatelnost a leštitelnosti se pro rekrytalizovaný zrnitý vápenec v kamenické praxi někdy používá název „mramor“ [6], [11].

Horniny metamorfované

Vznikaly přeměnou magmatických, sedimentárních, nebo starších již metamorfovaných hornin. Metamorfóza je složitý proces, při němž se již vzniklé horniny přizpůsobují novým fyzikálně – chemickým podmínkám prostředí, do kterých se dostávají vlivem neustále probíhajících geologických pochodů. Nejčastěji na horniny působí zvýšená teplota a tlak. Při metamorfóze dochází ke změně struktury, minerálního složení a chemizmu horniny [6].

Norma ČSN 721800 dělí metamorfované horniny vhodné ke kamenickému zpracování na tři skupiny – karbonátové, silikátové a břidlice [11].

a) Karbonátové

Krystalický vápenec (mramor): Vzniká přeměnou vápenců a v jeho složení se odráží složení původní horniny. Na rozdíl od té se v mramoru už nevyskytují fosilie a došlo ke změně pigmentace vlivem vysoké teploty. Většina mramorů je bílá, pokud však původně tmavé vápence obsahovaly bituminózní látky, došlo k jejich přeměnění na grafit a následnému šedě páskovanému až černému zbarvení mramoru. Některé

mramory mohou být i slabě načervenalé díky jemně rozptýleným částicím hematitů [11].

Mramory jsou jedny z nejpoužívanějších hornin ve stavebnictví. Jsou velmi snadno opracovatelné a díky svým technickým vlastnostem byly vyhledávány jako stavební materiál již ve starověku.

b) Silikátové

Serpentinit (hadec): Vzniká chemickou přeměnou, která neprobíhá rovnoměrně, ale začíná na různých místech uvnitř horniny. Díky tomu má serpentinit žilkovanou strukturu připomínající hadí kůži. Při tomto procesu vzniká měkký minerál serpentin, který dodává hornině její typickou tmavě až světlezelenou barvu [6], [11].

Protože je serpentinit při působení vnějšího prostředí nestálou horninou – postupně ztrácí lesk a vápencové žilky podléhají přeměně – je vhodný pouze k využití v interiérech. Díky svému pestrému vzhledu je využíván jako dekorační kámen [6].

Ruly: Jsou krystalické břidlice s obsahem živců, křemene, slídy a dalších minerálů. Podle nich se pak označují jako rula granátnická, amfibolická a podobně. Ortoruly vznikly z magmatických hornin, pararuly naopak ze sedimentárních [11].

Amfibolit: Má šedočernou až šedou barvu a všesměrnou nebo plošně paralelní (páskovanou) strukturu. Charakteristický je obsah amfibolu a plagioklasu [6], [11].

c) Břidlice

Fylit: Je jemnozrnná, tence břidličnatá hornina. V minerálním složení jsou zastoupeny zejména křemen, chlorit, biotit a sericit, který dodává foliačním plochám fylitu hedvábný lesk a tím jej pomáhá na pohled odlišit od sedimentárních jílových břidlic. Může mít nazelenalou, modrošedou až černou barvu [6], [11].

Informativní průměrné hodnoty fyzikálních vlastností vybraných hornin uvádí tabulka 2.1-1 z normy ČSN 733251 Navrhování konstrukcí z kamene [10]. Technické požadavky pro přírodní stavební kámen jsou shrnuty v tabulce 2.1-2 podle normy ČSN 721800 Přírodní stavební kámen pro kamenické výrobky – Technické požadavky [11].

Z tabulky 2.1-1 plyne, že průměrná objemová hmotnost hornin využívaných na našem území se pohybuje v rozmezí 2100 kg/m^3 (pískovec) do 2900 kg/m^3 (diorit, gabro). Čím nižší je objemová hmotnost horniny, tím vyšší je její pórovitost a nasákavost. Hodnoty průměrné pevnosti v tlaku vykazují značný rozptyl – od 50 MPa až do 160 MPa, což dokazuje rozmanitost horninového materiálu.

Tabulka 2.1- 2 uvádí u všech parametrů nižší hodnoty, protože jde o výčet minimálních hodnot požadovaných pro využití kamene ve stavebnictví.

Tabulka 2.1-1 Informativní průměrné hodnoty fyzikálních vlastností vybraných hornin [10]

Druh horniny	Objemová hmotnost ρ	Pevnost		Modul pružnosti E	Teplotní součinitel délkové roztažnosti α	Pórovitost	Nasákavost	Obrusnost podle Böhma	Součinitel mrazuvzdornosti
		v tlaku R_{sc}	v tahu za ohybu R_{stf}						
	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	MPa		GPa	$(^\circ\text{C})^{-1}$	% objemu	% hmotnosti	mm	-
Granit	2660	160	16	70	10×10^{-6}	1,10	0,30	1,6	0,89
Granodiorit									
Syenit									
Diorit	2900	160	20	90	10×10^{-6}	1,00	0,20	1,6	0,92
Gabro									
Andezit	2500	160	15	23	10×10^{-6}	2,00	1,50	2,0	0,90
Trachyt	2350	95	8	-	9×10^{-6}	10,00	2,70	4,5	0,85
Ryolit									
Pískovce hutné (Droby)	2630	120	14	23	11×10^{-6}	5,00	1,00	3,0	0,75
Pískovce pórovité, Opuka	2100	50	6	20	8×10^{-6}	17,00	8,00	5,6	0,65
Travertin	2450	60	7	-	7×10^{-6}	15,00	1,50	6,0	0,75
Vápence pórovité									
Vápence krystal., Vápence hutné (Mramory)	2670	105	10	60	6×10^{-6}	2,00	0,25	5,5	0,86
Serpentinit (Hadec)	2600	165	18	90	10×10^{-6}	3,00	0,80	3,0	0,85

Tabulka 2.1-2 Technické požadavky pro přírodní stavební kámen [11]

Druh	Skupina Podskupina	Označení	Příklad horniny	Objemová hmotnost	Pevnost		Nasákavost	Součinitel mrazuvzdornosti			
					v tlaku	v tahu za ohybu					
				kg . m ⁻³	MPa		% hmotnosti	-			
Magmatické horniny	I/a	Hlubinné světlé	Granit	2500	90	6	0,70	0,75			
			Granodiorit								
			Syenit								
	I/b	Hlubinné tmavé	Diorit	2800	80	6	5,50	0,75			
			Gabro								
	I/c	Výlevné hutné	Andezit	2500							
	I/d	Výlevné pórovité	Trachyt	2000					80	7	3,00
Ryolit			1600	60					5	9,00	
Sedimentární horniny	II/a	Klastické hutné	Hutný pískovec	2500					40	5	5,00
	II/b	Klastické pórovité	Pórovitý pískovec	1800					15	2	15,00
			Opuka								
	II/c	Klastické břidličnaté	Jílovitá břidlice	2500	-	25	2,00				
	II/d	Karbonátové pórovité	Pórovitý vápenec	2300	30	5	4,00				
Travertin											
II/e	Karbonátové hutné	Hutný vápenec	2600	40	4	0,80					
Metamorfované horniny	III/a	Karbonátové	Krystalický vápenec	2600	40	4	0,80				
	III/b	Silikátové	Serpentinit	2500	60	6	1,00				
			Ruly								
	III/c	Břidlice	Fylit	2600	-	30	1,50				

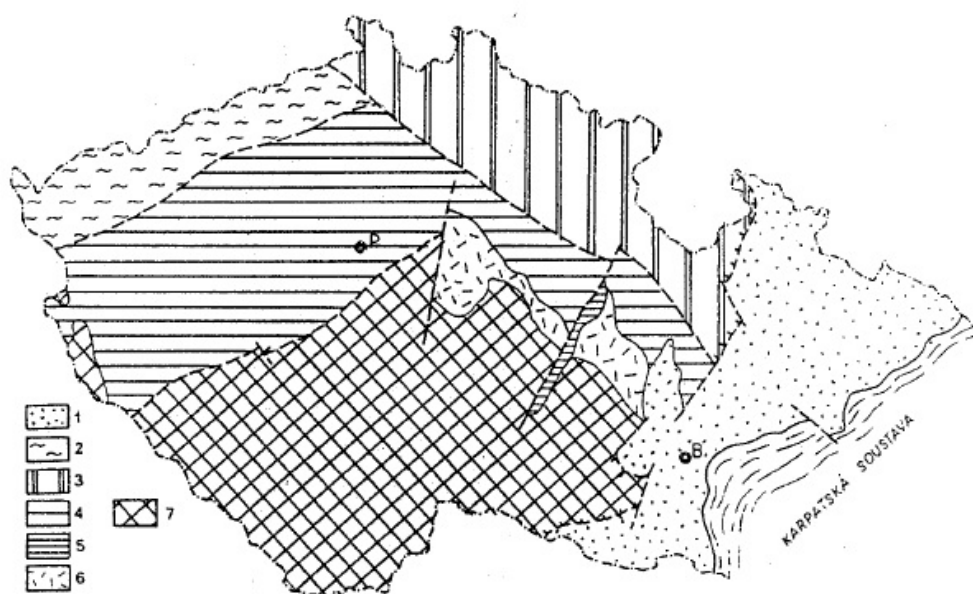
2.1.2 Kamenictví a geologie české republiky

Česká republika je země bohatá na zdroje velmi kvalitního přírodního kamene, zejména žul a pískovců. Kamenické řemeslo zde má více než tisíciletou tradici a dobré pověsti se těší i v zahraničí. Jak svědčí mnohé dochované stavby, největší

rozmach zpracování stavebního kamene probíhal v období gotiky. K nejvýznamnějším domácím umělcům té doby patří například Matyáš Rejsek z Prostějova (přelom 15. a 16. století), autor Prašné brány v Praze. Podílel se také na dostavbě chrámu sv. Barbory v Kutné Hoře, kde navázal na práci svého předchůdce Petra Parléře. Zásadní význam pro českou architekturu té doby má i francouzský mistr Matyáš z Arrasu, který roku 1344 započal stavbu katedrály sv. Víta v Praze [2].

V moderní historii českého kamenictví došlo k největšímu pokroku v 50. letech 20. století, kdy se začal ke zpracování využívat technický diamant. V té době bylo také založeno kamenické učiliště v Lipnici nad Sázavou, dnes nahrazeno gymnáziem ve Světlé nad Sázavou [5].

Z tradičních řemeslných cechů v Česku vznikl Svaz kameníků a kamenosochařů, v Evropské unii existuje tzv. celoevropské spojení kameníků EUROROC. Existence těchto sdružení dokazuje, že i v dnešní době má kámen svůj význam – ať už jako stavební či dekorační materiál. Patrony kamenického řemesla jsou sv. Josef, sv. Roch a sv. Barbora [5].



Obrázek 2.1-3 Bloková stavba Českého masívu. Oblasti: 1 – moravsko-slezská, 2 – krušnohorská, 3 – lugická, 4 – středočeská, 5 – hlinská zóna, 6 – kutnohorskosvratecká, 7 – moldanubická [7]

Na území České republiky zasahují dvě základní geologické jednotky s velmi

rozdílnou stavbou, která je způsobena zcela odlišným vývojem. Jak ukazuje obr. 2.1-3, většinu geologického podkladu České republiky tvoří Český masív. Ten je charakteristický blokovou stavbou, rovněž znázorněnou na obr. 2.1-3. Český masív je rozdělen hlubinnými zlomy, tzv. lineamenty, na dílčí části. Oproti tomu druhá geologická jednotka, Západní Karpaty, je typická vrstevnatou (příkrovovou) stavbou tvořenou sedimenty, v nichž jsou „zamíchány“ velké bloky vyvřelých a metamorfovaných hornin [7].

Těží se u nás zejména žuly, jejichž výskyt je vázán na plutony nebo menší masívy. Nejrozsáhlejší naleziště v Česku se nachází na území Středočeského plutonu, například lomy Hudčice nebo Vápenice, kde se lámou největší bloky v ČR. Žuly z Moldanubického plutonu se projevují výraznější pigmentací, například tmavě namodralá Mrákotínská. Zajímavě zbarvené žuly se nachází také v okolí Liberce a Železného Brodu (obr. 2.1-1), v Rožanech ve Šluknovském výběžku se těží vzácně zelenočerný šluknovský syenit [5].

Ve skupině sedimentárních hornin těžených na našem území dominují pískovce. Známé jsou například lomy na Broumovsku – Libnava a Božanov. Pískovec z lomu Javorka u Lázní Běláhoř má sytě tmavorůžovou barvu, mšenský je žlutě šmouhovaný a v lomu Řeka na Těšínsku se vyskytuje v šedozelené barvě (všechny na obr. 2.1-4) [5].



Obrázek 2.1-4 Pískovce: Vlevo: běláhořský [25], uprostřed: mšenský [26], vpravo: těšínský [27]

Zejména ve středověku se v okolí Prahy v hojné míře těžila opuka, dnes je těžba zachována už jen u Přední Kopaniny a v Příbylově na Skutečsku [5].

Nejvýznamnější oblastí těžby mramoru je Slivenec, kde se vyskytuje kámen s esteticky zajímavým červeným zabarvením. Další fungující lomy jsou také

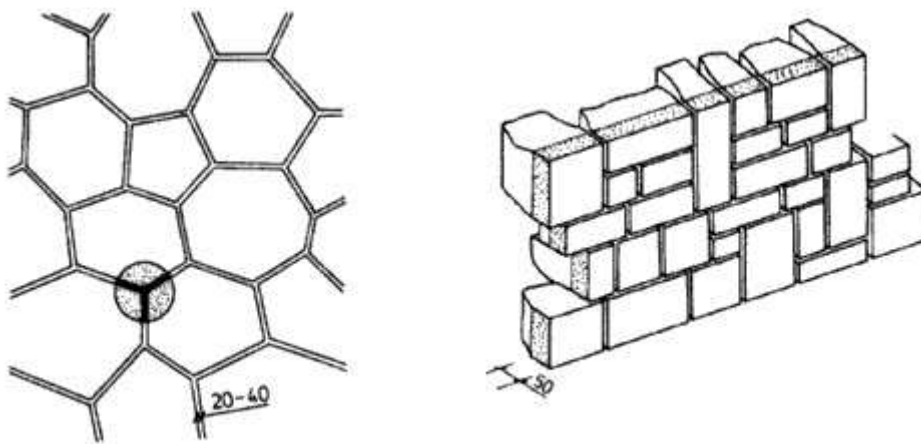
v oblasti Kralického Sněžníku a ve Slezsku, například Lipová [5].

Těžba droby dnes probíhá zejména kvůli využití této horniny jako kameniva v silničním stavitelství. Aktivními lomy jsou například Jakubčovice, Baldovec nebo Podhůra u Lipníka nad Bečvou. V historii byla droba zejména na Moravě hojně využívaným stavebním materiálem, který se získával například v Hradčanech a Koběřicích [5].

Ze skupiny sedimentů se na našem území těží ještě břidlice, a to zejména na železnobrodsku [5].

2.1.3 Přehled a vývoj konstrukcí z kamene

Jak již bylo řečeno, kamenné konstrukce jsou specifickým typem konstrukcí zděných. Podle způsobu opracování a použité vazby se rozlišuje několik typů kamenného zdiva. Mezi nejvýznamnější patří zdivo z lomového kamene a z tesaných kvádrů, dále pak existuje například řádkové, haklíkové nebo kyklopské (obr. 2.1-5). Nezřídka se také vyskytují stavby ze zdiva smíšeného, kdy je použit stavební kámen v kombinaci s cihlami nebo jiným stavebním materiálem (obr. 2.1-6).



Obrázek 2.1-5 Kyklopské (vlevo) a haklíkové zdivo (vpravo) [28]



Obrázek 2.1-6 Detail smíšeného zdiva, zřícenina Dívčího Hradu, Pavlov [40]

Zdivo z lomového kamene

Jako materiál pro lomové zdivo sloužily kusy kamene, které byly nepravidelné a zpravidla ploché. Byly skládány se snahou o vazbu, a to s různým pojivem. Na důkladnějších stavbách se používala malta vápenná, rozšířenější (zvláště na venkově) však bylo zdít na maltu hliněnou nebo také na sucho. Použitý typ pojiva ovlivňuje nejen soudržnost, ale spolu s pevností jednotlivých kamenů a způsobem jejich vazby také celkovou pevnost zdiva. Lomové zdivo v lici se běžně uplatňovalo od nástupu gotiky, kdy se téměř vždy počítalo s jeho omítáním [1].

Zejména na venkově byla vždy snaha využívat ke zdění levný a běžně dostupný materiál – sbíraný z polí nebo suťových sesuvů pod skalami. Úspornost se také projevovala na použitém pojivu. Nejčastěji bylo používáno hliněné malty, která mohla případně obsahovat určitý přídavek vápna, nebo se stavělo zcela bez malty na sucho (zejména ohradní zdi). Vzhledem k tomu, že sbíraný materiál nemá ostré hrany, opticky působí měkčeji a hůře na něm drží omítka [1].

V historickém zdivu kameny leží vždy na své největší ploché straně. Stojící

kámen je prakticky nemožný, proto je vůči historickému kontextu novodobé haklíkové zdivo (obr. 2.1-5) poněkud cizorodé. Výjimky tvoří místa, kde bylo třeba vyplnit krátké zbylé mezery, např. v řádkách románského zdiva [1].

Výjimečně se v historických stavbách vyskytují i lomové kusy položené šikmo v jedné řádce nebo i v klasově kladených úsecích v ploše jiného zdiva. V těchto případech může jít o napodobeninu antické vazby „opus spicatum“ (obr. 2.1-7), je však také možné, že důvodem bylo spotřebovat přebytek plochých kusů kamene [1].



Obrázek 2.1-7 Detail opus spicatum - most do knížecího paláce na Vyšehradě z 11. století [29]

Někdy je možné vidět odlišně kladené úseky ve tvaru klenebních oblouků nebo pasů, zejména ve větších úsecích lomového zdiva, například na středověkých hradbách. Tyto úseky mohou působit jako někdejší, později zazděné otvory, ve skutečnosti se zpravidla jednalo o snahu vytvořit jakousi ztužující kostru zdiva. Obkračováním méně únosných míst spolu se snahou soustředit zatížení do spolehlivě únosné oblasti se vytvořila soustava navenek nevystupujících pasů a podpěr. Tento systém byl používán už v antice, např. při stavbě kupole Panteonu [1].

V lomovém zdivu se mohou nalézat i větší či menší příměsi cihel – pak jde o zdivo smíšené. Sporadicky se objevuje na stavbách z období gotiky, v té době ale cihly představovaly vzácnější materiál, proto byly použity jen jejich úlomky, ojediněle umístěny mezi kamenem. Podíl použitých cihel ve smíšeném zdivu rostl v renesančních, barokních a klasicistních stavbách, kde se používaly už i celé kusy [1].

Do poloviny 19. století byla pro charakter místní architektury klíčová regionální příslušnost použitého kamene, která tak mohla mít dopad i na stavební tvářnost celého regionu. Například v období rozvoje zděné stavby v 19. století se v oblastech

západně a severozápadně od Prahy a také na Českomoravské vrchovině hojně používala opuka. Na té ale špatně držela omítka, čímž se vytvořil specifický stavební kolorit (obr. 2.1-8). Rozvoj železniční dopravy od poloviny 19. století měl za následek postupný konec používání tradičních místních materiálů na stavbách i dlažbách [1].



Obrázek 2.1-8 Původní zdivo z neomítnuté hrubé opuky, Řevničov, okres Rakovník [30]

Zdivo z tesaného kamene

Od dob antiky se v Evropě za ideál náročně provedené stavby považovalo zdivo s lícem z pravidelných kvádrů z tesaného kamene. Podle oblasti svého největšího rozvoje byla tato technika v českých zemích nazývána „římský způsob“ nebo také románské zdivo. Zpočátku šlo o zdivo tzv. řádkové, u kterého je viditelná snaha klást do jednoho řádku prvky stejné výšky, přičemž jednotlivé řádky se mohly svými výškami lišit. Postupem času se používalo přesněji opracovaných kvádrů a kvádrů. Právě výška řádků se dá považovat za orientační datovací prvek – menší a nižší kvádry jsou starší. Toto kritérium je však poněkud nepřesné, například u zdiva z opuky je výška řádku dána výškou odlučnosti vrstev kamene v lomu [1].

Pro zdivo z tesaného kamene je charakteristické, že i u relativně tenkostěnných staveb s oběma tesanými líci bývá vnitřek proveden méně náročným způsobem. Mnohé dochované stavby ve Středomoří byly konstruovány z hrubšího jádrového zdiva, které mělo být až následně zakryto pohledovou vrstvou z tesaných pravidelných kvádrů – šlo tedy pouze o obklad. U většiny staveb tohoto typu na našem území jsou však lícové části natolik masivní, že by se bez nich vnitřní hrubé zdivo neobešlo [1].

Stavebním materiálem u nás běžně používaným byla zejména opuka, snadno dosažitelná v okolí Prahy, a také světlý pískovec. Více namáhané části staveb jako například dříky či hlavice sloupů se někdy tesaly z tvrdších materiálů. Na počátku románského slohového období se kvádry z měkčích kamenů opracovávaly otloukáním, na rozdíl od pozdějších hladce upravených kvádrů jsou tedy typické nepravidelným miskovitým povrchem. Vnitřek zdiva mezi líci býval tzv. litý – tvořený drobnějšími odpadovými kusy se značným podílem malty. Kvádříky měly směrem dovnitř kónický tvar, což umožňovalo lepší usazení a zatlačení přebytečné malty. Také jejich hloubkové rozměry se různě střídaly, aby bylo zajištěno provázání zdiva [1].

V období gotiky zůstává zdivo z tesaného kamene nadále ideálem, objevuje se tedy u většiny tehdejších významných staveb. Na rozdíl od předešlého slohu se před opukou upřednostňuje vápenec a kvádry nabývají podstatně větších rozměrů. Vzhledem k náročnosti výstavby se s kompletním lícem z tesaného kamene stavěly jen významné církevní stavby či reprezentativní světské objekty (pražské mostecké věže, Karlův most aj.). Díky vysokým nárokům na soudržnost jednotlivých prvků muselo být zdivo spojováno kromě kvalitní malty i čepy nebo trny ze železa nebo jiného kovu [1].

U staveb z méně náročného lomového zdiva byly z tesaného kamene zhotovovány alespoň architektonické prvky a nárožní armatury (obr. 2.1-9). Ačkoli je tento způsob typický právě pro gotiku, jeho tradice sahá již do období románského [1].

S renesancí nastupuje móda tenkostěnných omítaných konstrukcí. Kromě pár výjimek (např. Ludvíkovo křídlo královského paláce Pražského hradu) se tesané prováděly jen výtvarné prvky staveb jako třeba brány nebo ostění otvorů [1].

Až v druhé polovině 19. století dochází k návratu k provádění průčelí z tesaného kamene. Patrné je to zejména na velkých historizujících stavbách veřejných i sakrálních budov v novogotickém či novorenesančním stylu [1].



Obrázek 2.1-9 Jasně patrné nárožní armatury na katedrále sv. Petra a Pavla v Brně [31]

2.1.4 Příklady význačných kamenných staveb v širším okolí Brna

Mezi nejvýznamnější sakrální stavby v oblasti patří rotunda sv. Kateřiny ve Znojmě a bazilika sv. Prokopa v Třebíči (obě stavby na obr. 2.1-10).



Obrázek 2.1-10 Rotunda sv. Kateřiny [33] a bazilika sv. Prokopa [32]

Období vzniku první jmenované stavby – národní kulturní památky – se odhaduje mezi začátkem 11. a první polovinou 12. století. Rotunda je tvořena válcovou lodí, k níž je na východní straně připojena apsida. Zdivo z lomového kamene je velmi pečlivě řádkováno a dochovaly se v něm také kapsy, které mohly sloužit k upevnění lešení [33]. Bazilika sv. Prokopa byla vybudována při

benediktinském klášteře v letech 1240 až 1280 a v roce 2003 byla zapsána do seznamu světových kulturních památek UNESCO. Trojlodní chrám je postaven z pískovcových kvádrů a žulových žeber [32].

Dalším charakteristickým typem kamenných staveb jsou stavby obranné, tedy hrady, tvrze a věže. Nejznámějším kamenným hradem v okolí Brna je patrně hrad Pernštejn (obr. 2.1.-11). Při jeho výstavbě v polovině 13. století byl v hojné míře využíván místní nedvědický mramor, což hradu přineslo přívlastek „mramorový“ [34]. Zajímavá je také zřícenina Dívčího Hradu v Pavlovských vrších (obr. 2.1-12). Za zmínku stojí, že na hradě nikdy nebyla postavena v té době (13. století) obvyklá strážní věž. Obrana hradu spočívala totiž v jeho neobvykle silných a vysokých zdech, které jsou patrné dodnes. V roce 1645 však ani ty nedokázaly vzdorovat dobývání Švédů, kteří hrad i s nedalekým Pavlovem vyplenili [40].

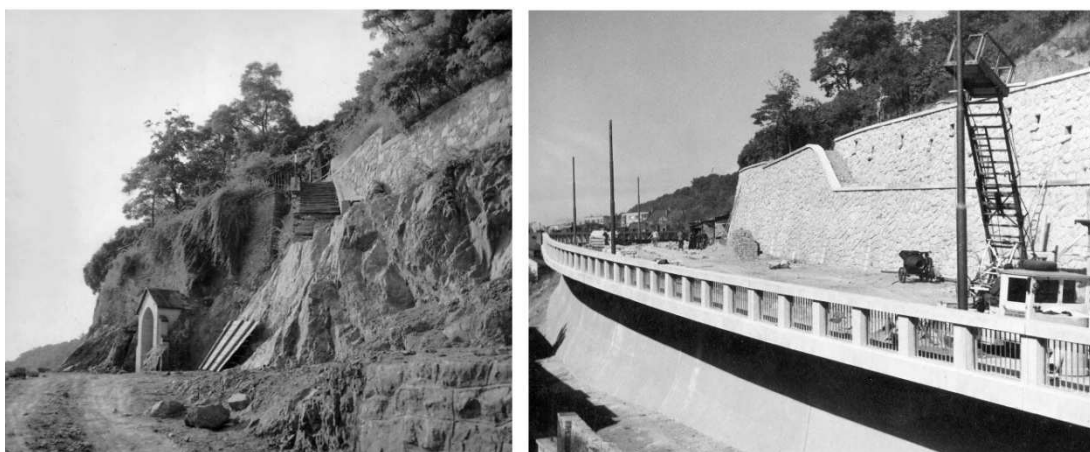


Obrázek 2.1-11 Hrad Pernštejn [34]



Obrázek 2.1-12 Dívčí Hrad [40]

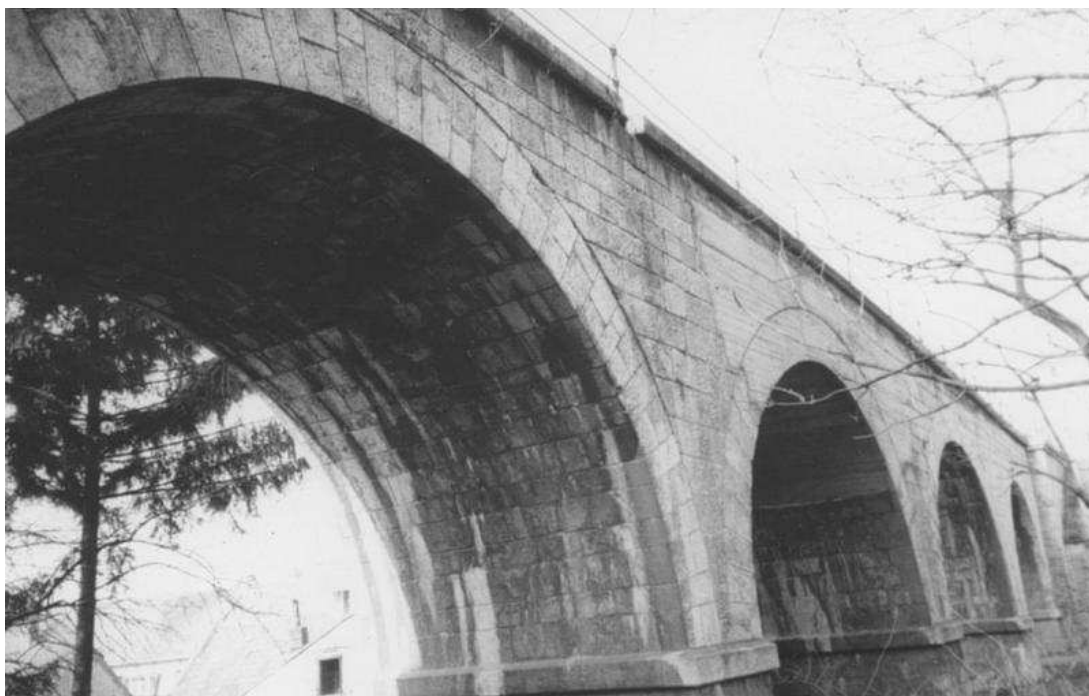
Z kamene se budovaly také opěrné zdi, v Brně jsou k vidění kupříkladu na ulici Husova. Jak ukazuje obrázek 2.1.-13 , ke stavbě opěrné zdi došlo při prodloužení ulice směrem na Nové Sady v letech 1940 až 1941.



Obrázek 2.1-13 Výstavba prodloužení ulice Husova v Brně [36]

V neposlední řadě sloužil kámen také jako stavební materiál pro výstavbu mostů. I když mezi ty nejznámější v České republice patří především most Karlův a most v Písku, také na Moravě se nachází několik zajímavých objektů. Například

železniční viadukt v Chrlicích (obr. 2.1.-14) z roku 1869 nebo přímo v centru Brna umístěný viadukt na Křenové (obr. 2.1-15). Prohlídku kamenného mostu v Dobromilicích popisuje praktická část této bakalářské práce.



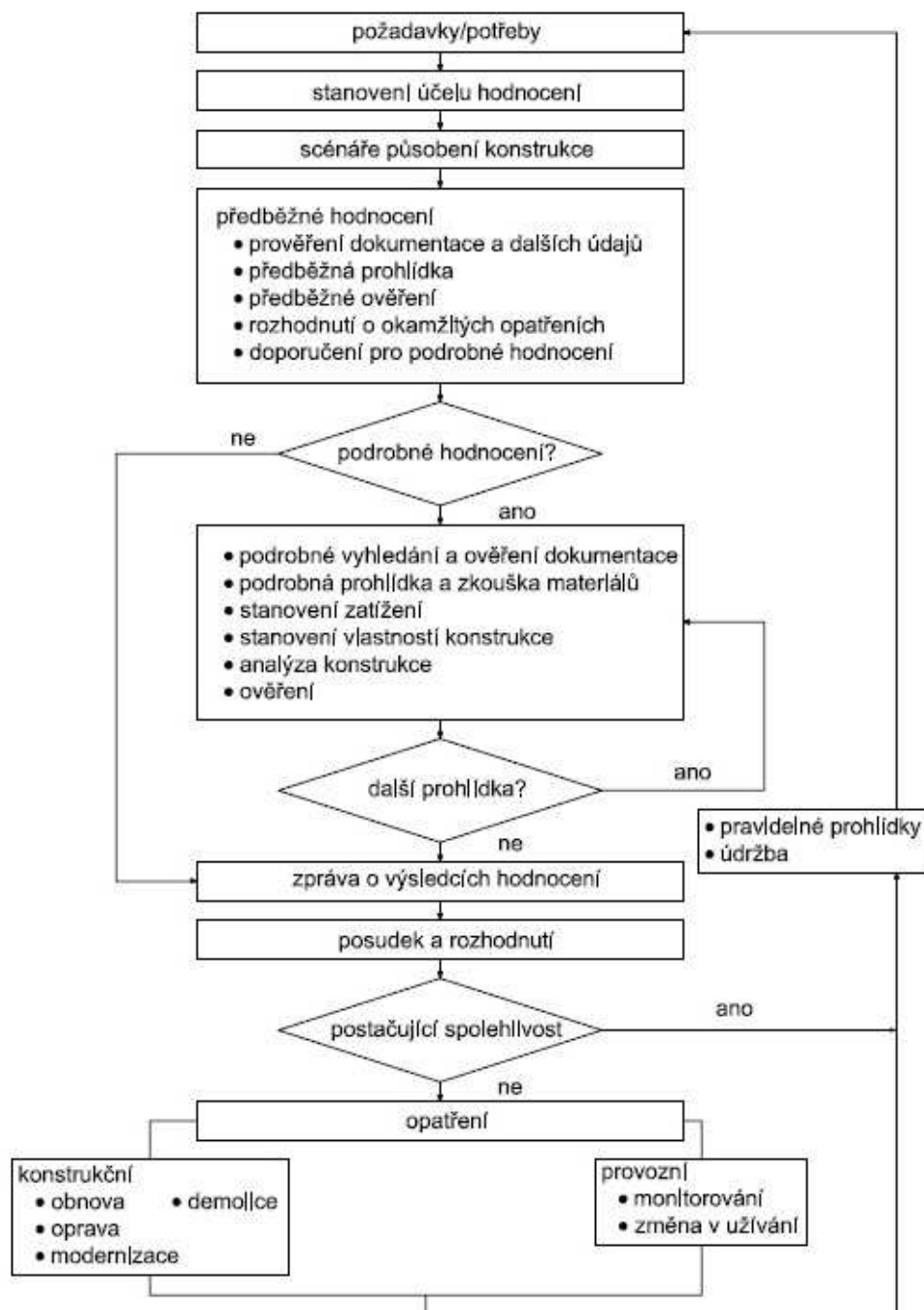
Obrázek 2.1-14 Kamenný viadukt v Chrlicích [37]



Obrázek 2.1-15 Viadukt na Křenové v Brně [38]]

2.2 APLIKACE POSTUPU HODNOCENÍ KAMENNÝCH KONSTRUKCÍ PODLE ČSN ISO 13822

Na obrázku 2.2-1 je znázorněn vývojový diagram z normy ČSN ISO 13822 popisující postup hodnocení existujících konstrukcí. V této kapitole budou popsány jednotlivé kroky a uvedeny případné zvláštnosti či odlišnosti týkající se konstrukcí z kamene.



Obrázek 2.2-1 Vývojový diagram postupu hodnocení existujících konstrukcí [9]

Postup vždy závisí na účelu hodnocení a specifických okolnostech, tedy na dostupnosti projektové dokumentace a zjištěných škodách či změnách ve využívání konstrukce [9]. Právě ověření těchto specifických okolností je však u kamenných staveb poněkud komplikované. Díky značnému stáří těchto objektů projektová dokumentace již většinou neexistuje, a také doklady o pozdějších stavebních zásazích bývají těžko dohledatelné. V těchto případech jsou klíčové znalosti a přehled hodnotitele, které mohou pomoci alespoň k odhadu jinak nezjistitelných dat.

2.2.1 Hodnocení existujících konstrukcí dle ČSN ISO 13822

Stanovení účelu hodnocení

Probíhá na základě konzultací s objednatelem a vychází z požadavků na budoucí funkční způsobilost konstrukce [9]. ČSN ISO 13822 uvádí tři funkční úrovně:

- Úroveň bezpečnosti (poskytnutí odpovídající bezpečnosti uživatelům stavby)
- Úroveň trvale udržitelných funkčních vlastností (poskytnutí nepřetržité funkčnosti pro speciální stavby typu nemocnic, budov občanské vybavenosti a důležitých mostů a to i v případech zemětřesení, nárazu či jiných předvídatelných havárií)
- Speciální funkční vlastnosti dle požadavků objednatelů (týkají se ochrany vlastnictví nebo použitelnosti)

Scénáře

V plánu bezpečnostních opatření je třeba stanovit scénáře pro identifikaci možných kritických situací. Tyto scénáře souvisí se změnami konstrukčních podmínek nebo zatížení. Pro každý ze scénářů jsou charakterizovány rozhodující a případně i vedlejší procesy nebo zatížení. Tvorba scénářů je klíčová pro hodnocení a návrh opatření k zajištění bezpečnosti a použitelnosti konstrukce [9].

Předběžné hodnocení

Prvním krokem předběžného hodnocení je ověření správnosti a aktuálnosti projektové a inspekční dokumentace. Je také třeba zaznamenat a zdokumentovat i další údaje, a to významné účinky prostředí, seismicitu, extrémní zatížení, změny v základových poměrech, korozi a nesprávné využití konstrukce [9].

Následuje předběžná prohlídka, která má za účel identifikovat konstrukční systém a jeho možná poškození. Využívá se zejména vizuálního hodnocení a jednoduchých nástrojů. Prohlídka je zaměřena zvláště na viditelné poruchy a deformace, trhliny, odprýskávání a korozi. V případech zděných konstrukcí se také zjišťuje kvalita vazby a přibližná pevnost či degradace malty. Výsledkem předběžné prohlídky je kvalitativní zatřídění stavu konstrukce dle jejího možného poškození – žádné, menší, mírné, závažné, destrukční, neznámé – včetně podrobného popisu konkrétních vad a poruch [9].

Zjistí – li se během předběžné prohlídky, že konstrukce je po dobu požadované zbytkové životnosti spolehlivá, podrobné hodnocení se již nevyžaduje. V případě výskytu nejistot ohledně účinků zatížení nebo vlastností konstrukce se doporučuje podrobným hodnocením pokračovat. Je – li během předběžného průzkumu zjištěno, že konstrukce se nachází v nebezpečném stavu, je nutné toto oznámit objednateli. Jeho povinností je provést okamžitá opatření s ohledem na bezpečnost veřejnosti [9].

Podrobné hodnocení

Podrobné hodnocení začíná vyhledáním a prověřením podrobnější dokumentace. Jedná se zejména o výkresy, statické výpočty, stavební deníky, záznamy o prohlídkách a údržbě, předpisy a normy, které byly použity pro výstavbu konstrukce a také dokumenty popisující topografii, základové podmínky a úroveň hladiny podzemní vody v místě stavby [9].

Dalším krokem je podrobná prohlídka a zkoušky materiálů. Pokud se charakteristické hodnoty materiálových vlastností, rozměry konstrukce a konstrukční detaily nedají s určitostí zjistit z projektové dokumentace, musí být v analýze použity hodnoty získané podrobnou prohlídkou. Jde o prohlídku kvantitativní a jejím výsledkem je soubor hodnot nebo rozdělení pro příslušné parametry ovlivňující vlastnosti konstrukce [9].

Při stanovení zatížení se postupuje podle ISO 2394 Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí. Pro stanovení účinků zatížení na konstrukci musí být provedena analýza konstrukce, opět v souladu s ISO 2394. S ohledem na účinky zatížení a stupeň degradace existující konstrukce se stanoví únosnost jednotlivých nosných prvků. Významným krokem je také určení příčin poškození či nesprávného chování konstrukce [9].

Pro zabezpečení požadované úrovně funkční způsobilosti se provádí ověření existující konstrukce podle ISO 2394 nebo rovnocenných norem [9].

Výsledky hodnocení

Výsledky hodnocení jsou zpracovány ve zprávě, jejíž strukturu popisuje příloha G normy ČSN ISO 13822 [9].

Je – li prokázáno, že použitelnost nebo bezpečnost konstrukce je nedostatečná, na základě výsledků hodnocení je doporučeno vhodné konstrukční opatření – obnova, oprava, modernizace nebo i demolice konstrukce. Tato opatření musí být v souladu s účelem hodnocení pro zbytkovou životnost [9].

V některých případech může být vhodnou alternativou proti konstrukčním opatřením snížení velikosti nebo řízení rizik. Provádí se prostřednictvím omezení zatížení, změny způsobu využívání stavby nebo také zavedením některého způsobu monitorování během provozu a kontrolního režimu. Souhrnně se tyto postupy nazývají provozní opatření [9].

2.2.2 Specifika v hodnocení konstrukcí z kamene

Předběžné hodnocení

Jak již bylo řečeno, ověření projektové a inspekční dokumentace bývá často poměrně složité, někdy až neproveditelné. U významnějších kamenných staveb je možné nalézt alespoň některé údaje v archivech nebo kronikách.

O to větší význam má proto předběžná prohlídka, neboť právě v jejím průběhu mohou být zjištěny mnohé údaje chybějící v důsledku nedostupnosti dobové dokumentace. Kromě popisu viditelných stavebních zásahů (zazděné otvory, vyměněné kameny) je také možné podle kamenických značek a jiných charakteristik (např. výška řádku – viz. 2.1.3) určit přibližné období vzniku stavby.

Cílem předběžné prohlídky je identifikace konstrukčního systému a jeho možných poruch. V případě kamenných konstrukcí je klíčové identifikovat i stavební materiál. A to nejen určit horninu pomocí petrografického rozboru, ale také je vhodné zjistit, zda byl kámen dodán z jedné nebo více lokalit. Rozdílný původ může znamenat velké rozdíly ve vlastnostech jednotlivých částí konstrukce. Z toho při podrobné prohlídce plyne nutnost odebrání většího počtu vzorků pro zajištění popisu

celé konstrukce.

Z určeného druhu horniny také vyplývá návrh požadovaných laboratorních zkoušek. Podle tohoto kritéria je v zásadě možné rozdělit horniny do dvou skupin. Materiály jako žula nebo droba, které jsou charakteristické nízkou pórovitostí a vysokou pevností i v nasyceném stavu, vyžadují menší počet zkoušek pro ověření pevnosti v tlaku a míry degradace. U konstrukcí z nich postavených totiž většinou není problémem pevnost kamene, ale spíše kvalita malty a provázanost zdiva. Druhou skupinu hornin charakterizují zejména pískovce. U těchto nasákavých a heterogenních sedimentů rozmanitých vlastností roste význam zkoušek jak pevnosti, tak i stupně nasycení, ukazatele změknutí a míry degradace.

Kromě počtu a typu požadovaných laboratorních zkoušek se na základě předběžné prohlídky určí také místa provedení jádrových vývrtů. Ta se volí tak, aby při minimálním poškození konstrukce byly popsány všechny její klíčové oblasti. Jádrové vývrty slouží nejen k získávání zkušebních vzorků, ale také ke zjištění skladby zdiva. Tato problematika bude detailněji popsána dále.

Podrobné hodnocení

Podobně jako u zděných konstrukcí, je třeba se při podrobné prohlídce zaměřit zvláště na konstrukční a mechanické vlastnosti, vlhkost kamenného zdiva a materiálové charakteristiky kamene i malty [3].

- Konstrukční a mechanické vlastnosti:

U kamenných konstrukcí je zásadní problematika provázanosti a složení zdiva. Běžnou praxí bylo vyplnění prostoru mezi líci z tesaného kamene tzv. jádrovým zdivem. To se skládalo z menších kusů kamene (mohl se tak využít odpad vzniklý při opracovávání kvádrů) nebo i jiných materiálů, zalitých více či méně kvalitní maltou [1]. Kamenné klenby byly vyrovnávány buď násypem, nebo vyzděnou rovinou.

Vzhledem k tomu, že kamenné konstrukce bývají zpravidla masivní, dá se předpokládat, že jejich vnitřní část je vyplněná některým z uvedených způsobů. Pro popsání vlastností a možných poruch konstrukce je nezbytné určit skladbu zdiva, a to obvykle za pomoci jádrových vývrtů. Ty je třeba provést v takových místech a hloubkách, aby na jejich základě bylo možno popsat skladbu celé konstrukce. Z odebraných vzorků pak lze určit nejen složení výplňového materiálu, ale také jeho kvalitu či jakost malty, byla – li vůbec použita.

Kromě vlastností jednotlivých složek vnitřní části zdiva je předmětem vyšetřování také jeho kompaktnost. Mohou se v něm vyskytnout nevyplněné dutiny či kaverny. Mezerovitost zdiva se dá orientačně zjistit pomocí průvrtů, jde ale o destruktivní postup. V případě mostů se někdy provádí tzv. vodní tlaková zkouška, kdy do vývrtu o průměru cca 60 mm utěsněného manžetou je vháněna voda pod tlakem. Je měřen únik vody a pokles tlaku a na základě těchto dat se určí mezerovitost konstrukce. Tato zkouška se provádí zejména pro ověření efektivity plánované injektáže. K vizuálnímu průzkumu větších kaveren slouží technický endoskop nebo boroskop [3].

Při průzkumu kamenných konstrukcí se využívá také detektor výztuže (profometr), a to ke zjištění kovových kotevních prvků. Je tak možné odhalit místa, kde došlo v minulosti k odsekání původní poškozené vrstvy a jejímu nahrazení tzv. plombou. Jako plomba sloužil zpravidla tenčí opracovaný kus kamene, který byl ke konstrukci přikotven pomocí kovových prvků.

Co se týče problematiky trhlin, kamenné zdivo se nikterak neliší od zdiva cihelného. Sledování by mělo být dlouhodobé (minimálně 1 rok) a popsat jak statické příčiny vzniku trhlin, tak i vliv teploty. Metody měření posunů v trhlinách se používají v rámci minimálního navýšení rozpočtu co nejjednodušší. Nejčastěji používané je měření pomocí Hollanova příložného tenzometru, kdy se na konstrukci pouze osadí mosazné body a v určených intervalech se příložným tenzometrem odměří jejich posuny [8].

- Vlhkost kamenného zdiva

Míra ohrožení kamenného zdiva vlhkostí zaleží na druhu použitého kamene, zejména na jeho pórovitosti a nasákavosti. Vliv vlhkosti na pevnost v tlaku kamenného staviva ukazuje tzv. ukazatel změknutí. Jde o poměr pevnosti v tlaku ve vysušeném a nasyceném stavu. Vždy je však ohrožena malta, která podléhá ve vlhkém prostředí degradaci.

Je třeba stanovit zdroj a způsob pronikání vody do konstrukce, k čemuž slouží nedestruktivní metody, například měření elektrického odporu vlhkého zdiva. Důležitou informací je také chemické složení pronikající vody, zejména obsah solí nebo jiných agresivních látek. Na základě zjištěných dat se navrhne vhodné sanační opatření [3].

- Pevnost zdících prvků v tlaku

U zděných konstrukcí se k nedestruktivnímu měření in – situ využívá skleroskopických metod. Jde o postupy, kdy se (například pomocí Shmidtova kladívka) změří tvrdost materiálu a pomocí korelačního vztahu se vypočte jeho pevnost. Tyto korelační vztahy však pro kámen zatím nejsou definovány, i když jsou předmětem zkoumání. Detailněji se touto problematikou zabývá bakalářská práce Tvrdoměrné metody v mechanice hornin od Jakuba Hajna z roku 2011 (Ústav geotechniky, FAST VUT).

V případě kamenných konstrukcí se k určení pevnosti kamene v tlaku využívá destruktivních metod. Provádí se laboratorní zkoušky na zkušebních tělesech získaných z jádrových vývrtů. Nevýhodou tohoto postupu je, že zkušební tělesa jsou v lisu zatěžována jiným směrem, než je tomu v konstrukci – jádrové vývrty se obvykle vrtají vodorovně [8]. Pro zjištění pevnosti v tlaku ve směru zatížení v konstrukci jsou potřebná zkušební tělesa tvaru krychle o hraně 50 mm. K jejich získání je ale nutné, aby průměr jádrového vývrtu byl alespoň 75 mm. Vzhledem k památkové povaze většiny dochovaných kamenných konstrukcí je vhodný citlivější přístup, a proto se raději volí zkušební tělesa tvaru válce nebo krychle o průměru a výšce 50 mm a průměr vývrtu rovněž 50 mm. Rozdíl výsledné pevnosti v tlaku oproti zatěžování ve směru působení zatížení v konstrukci je díky celkové vysoké pevnosti kamene obvykle zanedbatelný. Při potřebě co nejmenšího zásahu do konstrukce je možné zredukovat průměr vývrtu až na 25 mm.

Jádrové vývrty z kamenných konstrukcí komplikuje skutečnost, že kámen je obvykle velmi tvrdý, zatímco malta ve spárách je poddajná a v konstrukci se často vyskytují kaverny. V kombinaci s nepravidelným tvarem kamenných zdících prvků dochází k rázům na jádrový vrták a k vylomení diamantových segmentů na korunce.

- Pevnost malty v tlaku

Zjišťování pevnosti malty v tlaku u kamenných konstrukcí není nijak zásadně odlišné od postupů u klasických zděných konstrukcí. Použity mohou být různé metody - nedestruktivní (NDT), destruktivní (DT), i semidestruktivní. Mezi NDT metody patří odhad na základě zjednodušeného určení tvrdosti vrypem a tvrdoměrné zkoušky na základě vhodných kalibračních vztahů (Schmidt PM, válcový indentor). Semidestruktivní zkoušky jsou realizovány pomocí speciálně upravených vrtaček (např. Kučerova vrtačka). Tato metoda je založena na vzájemném vztahu mezi

pevností malty ve spárách a odporem malty proti pronikání vrtáku [8].

U kamenných konstrukcí nejsou tyto metody příliš vhodné, neboť ukazují pouze vlastnosti malty na povrchu. Hlouběji v konstrukci však může být malta v úplně jiném stavu. Často totiž dochází k degradaci malty na povrchu nebo se naopak ve spárách vyskytuje tvrdá cementová vyspráva. Z tohoto důvodu jsou nejvhodnější destruktivní zkoušky spočívající v provedení jádrových vývrtů. Podle jejich velikosti a stavu materiálu se mohou vytvořit zkušební tělesa a zatížit v lisu nebo se provede chemický rozbor k zjištění obsahu pojiva. V tomto ohledu má kamenné zdivo oproti cihelnému jistou výhodu – díky jeho nepravidelnosti a obvyklé větší tloušťce spár je snadnější vytvoření zkušebních těles malty z vývrtů [8].

2.3 PŘEHLED METOD PRO ZKOUŠENÍ KAMENE

Důležitou součástí podrobného průzkumu jsou laboratorní zkoušky materiálů. Poskytují představu o reálných charakteristických hodnotách materiálových vlastností zkoumané konstrukce. Jednotlivé zkoušky probíhají podle daných norem a jejich výsledkem je statisticky uspořádaný soubor dat [9].

Pro kamenné konstrukce jsou kromě zkoušek, které určují pevnostní charakteristiky (pevnost v tlaku, modul pružnosti), zásadní také zkoušky určující náchylnost kamene k opotřebení vnějšími vlivy (pórovitost, nasákavost). Podle typu konstrukce a účelu průzkumu se stavební kámen zkouší i mnohými jinými metodami, v následujících kapitolách však budou uvedeny pouze ty nejdůležitější.

2.3.1 Stanovení měrné a objemové hmotnosti a celkové a otevřené pórovitosti, ČSN EN 1936 [12]

Princip zkoušky

Objemová hmotnost (poměr mezi hmotností suchého zkušebního tělesa a jeho zdánlivým objemem) a otevřená pórovitost (procentuální poměr objemu otevřených pórů ku zdánlivému objemu zkušebního tělesa) se určují pomocí vakuového nasycení vodou a následným vážením ponořených zkušebních těles [12].

Ke zjištění měrné hmotnosti (poměru mezi hmotností suchého zkušebního tělesa a objemem jeho pevné části) a celkové pórovitosti (procentuálního poměru objemu

otevřených i zavřených pórů a zdánlivého objemu zkušební tělesa) se využívá měření v pyknometru nebo LeChatelierově volumenometru [12].

Zkušební tělesa

Ke zkoušce je potřeba minimálně šest zkušebních těles, která lze považovat za reprezentativní v bloku zkoušeného kamene. Mohou mít tvar válce, krychle nebo hranolu, a jejich zdánlivý objem, zjištěný z geometrických měření, nemá být menší než 25 ml. Navíc poměr plochy povrchu ku objemu musí být mezi $0,1 \text{ mm}^{-1}$ a $0,2 \text{ mm}^{-1}$ [12].

Zkušební tělesa je třeba vysušit na ustálenou hmotnost v sušárně s ventilací při teplotě $(70 \pm 5) ^\circ\text{C}$ a následně uschovat v exsikátoru, dokud nedosáhnou pokojové teploty [12].

Provedení zkoušky

- Otevřená pórovitost a objemová hmotnost

Každé zkušební těleso se zváží a následně umístí do vakuové nádoby, kde dojde k úniku vzduchu obsaženého v jeho otevřených pórech. Poté, co se do nádoby pomalu vpustí demineralizovaná voda, je třeba vakuum udržet dalších 24 hodin. Následně se v nádobě ustanoví atmosférický tlak a zkušební tělesa se ponechají pod vodou po dobu jednoho dne. Závěrem je stanovena hmotnost pod vodou a v nasyceném stavu každého zkušební tělesa [12].

- Měrná hmotnost a celková pórovitost

V normě ČSN EN 1936 jsou uvedeny dvě metody – přesná, ale časově náročná, využívající pyknometr a méně přesná, zato však časově nenáročná metoda LeChatelierova volumenometru [12].

Po provedení předchozí zkoušky je každé zkušební těleso odděleně rozetřeno na částice menší než 0,063 mm. Ty jsou vysušeny na konstantní hmotnost a poté je odděleno množství, určené pro každou ze zkoušek dle normy [12].

Měření pomocí pyknometru spočívá ve smíchání rozetřeného zkušební tělesa s vodou a postupném zvážení pyknometru s obsahem vody a tělesa, pouze vody a nakonec samotné měřicí nádoby. Přesnost je zvýšena využitím vakua a tím eliminace vzduchových bublin, což však vyžaduje složitější proces [12].

LeChatelierův volumenometr funguje na principu Archimédova zákona –

rozetřené těleso je rovněž smícháno s vodou v měrné nádobě, aby se následně pomocí stupnice zaznamenal přírůstek objemu [12].

Výpočtové vztahy

Objem otevřených pórů v mililitrech:

$$V_o = \frac{m_s - m_d}{\rho_{rh}} \cdot 1000 \quad (2.3.1)$$

Objemová hmotnost v kilogramech na metr krychlový:

$$\rho_b = \frac{m_d}{m_s - m_h} \cdot \rho_{rh} \quad (2.3.2)$$

Otevřená pórovitost v procentech:

$$p_o = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \cdot 100 \quad (2.3.3)$$

Měrná hmotnost v kilogramech na metr krychlový:

Pyknometr:

$$\rho_r = \frac{m_e}{m_2 + m_e - m_1} \cdot \rho_{rh} \quad (2.3.4)$$

Volumenometr:

$$\rho_r = \frac{m_e}{V_s} \cdot \rho_{rh} \quad (2.3.5)$$

Celková pórovitost v procentech:

$$\rho = \frac{\frac{1}{\rho_b} - \frac{1}{\rho_r}}{\frac{1}{\rho_b}} \cdot 100 = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_r} \right) \cdot 100 \quad (2.3.6)$$

Popis veličin

- m_d hmotnost vysušeného zkušebního tělesa [g]
- m_h hmotnost zkušebního tělesa ponořeného do vody [g]
- m_s hmotnost nasyceného zkušebního tělesa [g]
- m_e hmotnost rozetřené a vysušeného zkušebního tělesa [g]
- m_1 hmotnost pyknometru naplněného vodou a rozetřeným zkušebním tělesem [g]
- m_2 hmotnost pyknometru naplněného vodou [g]

V_o	objem otevřených pórů ve zkušebním tělese [ml]
V_s	objem tekutiny nahrazené hmotností m_e [ml]
ρ_b	objemová hmotnost zkušebního tělesa [kg/m^3]
ρ_r	měrná hmotnost zkušebního tělesa [kg/m^3]
ρ_{rh}	hustota vody [kg/m^3]
ρ_o	otevřená pórovitost zkušebního tělesa [%]
ρ	celková pórovitost zkušebního tělesa [%]

2.3.2 Stanovení nasákavosti vodou za atmosférického tlaku, ČSN EN 13755 [13]

Princip zkoušky

Po vysušení na ustálenou hmotnost se každé zkušební těleso zváží a poté ponoří do vody za atmosférického tlaku. Nasákavost se vyjádří poměrem hmotnosti vody nasáklé zkušebním tělesem a hmotnosti vysušeného zkušebního tělesa [13].

Zkušební tělesa

Nároky kladené na zkušební tělesa jsou stejné jako u předchozí zkoušky

Provedení zkoušky

Zkušební tělesa se po vysušení zváží a vloží do nádoby na podpěry. Postupně jsou zaplavována vodou, až jsou ponořena celým svým objemem. Aby nedošlo ke zkreslení hustoty vody, je třeba pomocí vakua nebo varem odstranit z ní rozpuštěný vzduch. Tělesa se v pravidelných intervalech váží na suchu, dokud není dosažena ustálená hmotnost. Výsledek posledního vážení se považuje za hmotnost nasyceného zkušebního tělesa m_s [13].

Výpočtový vztah

$$A_b = \frac{m_s - m_d}{m_d} \cdot 100 \quad (2.3.7)$$

Popis veličin

A_b	nasákavost vodou za atmosférického tlaku [%]
m_d	hmotnost vysušeného zkušebního tělesa [g]

m_s hmotnost nasyceného zkušebního tělesa [g]

2.3.3 Stanovení pevnosti v prostém tlaku, ČSN EN 1926 [14]

Princip zkoušky

Zkušební tělesa jsou po předepsané úpravě povrchu a tvaru položena a vystředěna na plochu zkušebního lisu. Rovnoměrně rozložené zatížení je poté plynule zvyšováno, dokud nedojde k porušení tělesa [14].

Zkušební tělesa

Ke zkoušce je potřeba minimálně deset zkušebních těles a u každého z nich musí být zaznamenán směr jakékoli plochy anizotropie. Tělesa musí mít tvar krychle nebo válce s kruhovým průřezem. Strany, na něž je přenášeno zatížení, musí být ploché a rovnoběžné. Pokud toto nelze zajistit úpravou na soustruhu norma dovoluje zarovnání těles maltou. Tento postup je však nezbytné uvést v protokolu zkoušky. Podle účelu zkoušky se zkušební tělesa buď vysuší, nebo nechají nasytit ve vodě [14].

Provedení zkoušky

Před samotnou zkouškou musí být pečlivě změřeny rozměry zkušebních těles. Následně je každé z nich postupně vyzkoušeno v kalibrovaném zkušebním lisu. V něm musí být vyrovnáno se středem tlačné plochy a kulovým uložením tak, aby bylo dosaženo ustáleného usazení. Osa zatížení má být kolmá na plochy anizotropie. V případě, kdy je požadovaná rovněž zkouška rovnoběžně s plochami nespojivosti, je třeba zajistit druhou sadu vzorků o stejných rozměrech. V lisu je na zkušební těleso vyvíjeno zatížení plynule za konstantní rychlosti, dokud není dosaženo zatížení maximálního, které se projeví porušením tělesa [14].

Výpočtový vztah

$$R = \frac{F}{A} \quad (2.3.8)$$

Popis veličin

R pevnost v prostém tlaku zkušebního tělesa [MPa]

F zatížení při porušení [N]

A plocha příčného průřezu zkušebního tělesa před zkouškou [mm²]

2.3.4 Stanovení statického modulu pružnosti, ČSN EN 14580 [15]

Princip zkoušky

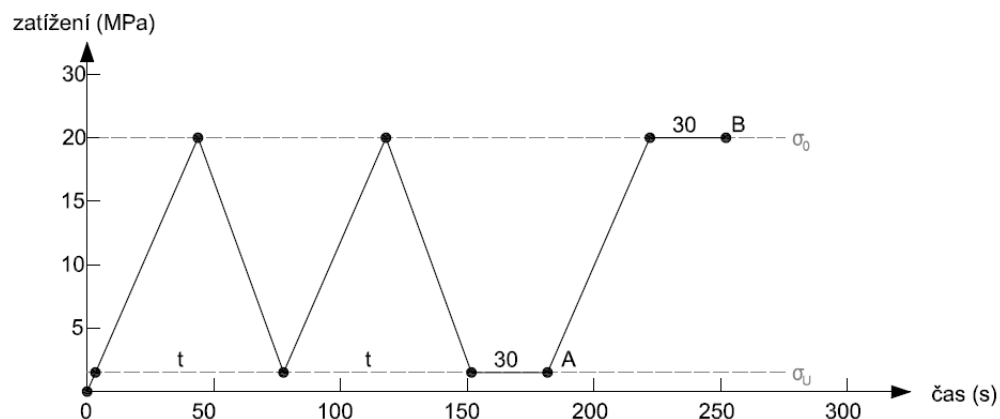
Statický modul pružnosti se vypočte z naměřených hodnot podélného přetvoření tělesa zatíženého základním a horním jednoosým tlakem [15].

Zkušební tělesa

Norma nestanovuje minimální počet zkušebních těles. Požadavky na rozměry a úpravu povrchu jsou stejné jako u předchozí zkoušky pevnosti v tlaku, včetně možnosti zarovnání maltou. Před zkouškou jsou na povrch zkušebního tělesa připevněna minimálně dvě délková (tenzometrická) měřící zařízení. Ta musí být umístěna symetricky kolem středu tělesa rovnoběžně s jeho osou v rovnoměrné vzájemné vzdálenosti [15].

Provedení zkoušky

Před započítáním zkoušky musí být řádně změřeny rozměry zkušebního tělesa. Rovněž musí být známa průměrná pevnost v tlaku stanovená podle EN 1926 [14]. Ve zkušebním zařízení se těleso vystředí a vrchní deska lisu se položí tak, aby byla úplně v kontaktu se zkušebním tělesem. To je poté vystaveno zatěžovacím a odlehčovacím cyklům ze základního zatížení σ_U k hornímu zatížení σ_0 podle schématu na obr. 2.3-1. Rychlost zatěžování je konstantní. Měření zatížení a jemu odpovídajícího přetvoření musí proběhnout před třetím zatěžovacím cyklem (bod A na obr. 2.3-1) a během třetího zatěžovacího cyklu (bod B na obr. 2.3-1). Po dokončení měření v bodě B musí být těleso dále zatěžováno až do porušení. Je – li pak rozdíl jeho pevnosti v tlaku od předem známé průměrné hodnoty větší než 20%, musí být tato skutečnost uvedena v protokolu [15].



Obrázek 2.3-1 Zatěžovací-časový diagram pro stanovení statického modulu pružnosti (hornina s pevností 60 MPa) [15]

A bod čtení základního zatížení (σ_U) a odpovídající přetvoření (ε_U) před 3. zatěž. cyklem

B bod čtení horního zatížení (σ_0) a odpovídající přetvoření (ε_0) během 3. zatěž. cyklu

t čas (s) pro zatěžovací a odlehčovací cyklus vycházející z dané rychlosti zatěžování

Osa zkušebního tělesa musí být kolmo k hlavní rovině anizotropie prvku. V případě požadavku na zatížení kolmé k jakémukoli jinému směru, musí být připravena druhá sada zkušebních těles se stejnými rozměry [15].

Výpočtový vztah

$$E_b = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} = \frac{\sigma_0 - \sigma_U}{\varepsilon_0 - \varepsilon_U} \quad (2.3.9)$$

Popis veličin

E_b statický modul pružnosti [MPa]

σ_U základní zatížení = cca 2% střední hodnoty zjištěné pevnosti v tlaku před třetím zatěžovacím cyklem [MPa]

σ_0 horní zatížení = cca 33% střední hodnoty zjištěné pevnosti v tlaku během třetího zatěžovacího cyklu [MPa]

ε_U střední jednotkové přetvoření při základním zatížení v bodě A obr.

ε_0 střední jednotkové přetvoření při horním zatížení v bodě B obr.

2.4 VÝPOČET PEVNOSTI ZDIVA PODLE ČSN 731101 A ČSN EN 1996-1-1

V případě existujících konstrukcí je možné pevnost zdiva v tlaku stanovit pevnostními zkouškami těles odebraných přímo z konstrukce, tento postup se však pro velkou pracnost používá zcela výjimečně. Obvykle se tedy pevnost v tlaku stanovuje výpočtem podle aktuálně platné normy [4].

Cílem této kapitoly je popsat odlišnosti ve výpočtu podle dřívější ČSN 731101 [16] a podle nyní platného Eurokódu ČSN EN 1996-1-1 [17]. Podstata výpočtu je podle obou norem stejná – nejprve se stanoví charakteristická pevnost zdiva v tlaku podle pevností staviva a malty. Pevnost návrhová (dříve výpočtová) se poté získá přenásobením koeficienty, které zohledňují ostatní vlivy jako například vazbu či vlhkost. Podrobný postup je však u každé z norem poněkud odlišný.

2.4.1 Stanovení pevnosti zdiva v tlaku dle ČSN 731101[16]

Výpočtová pevnost v tlaku zdiva v konstrukci R_d [N/mm^2] se podle nyní již neplatné ČSN 731101 stanovila podle rovnice 2.4.1 [4].

$$R_d = 1,6 \cdot \frac{\gamma_{in} \cdot \gamma_{rm}}{\gamma_{mm}} \cdot R_{ms,d} \quad (2.4.1)$$

R_{ms,d}

Výpočtová pevnost zdiva v N/mm^2 určená podle tabulky 2 v ČSN 731101 [16]. Tabulka 2.4-1 ukazuje jen tu část, která se zabývá kamenným zdivem. $R_{ms,d}$ zohledňuje druh vazby, výšku jedné ložné vrstvy a také třídu jakosti kamene a jeho pevnostní značku. Každé třídě jakosti přísluší požadovaná pevnost v tlaku zjištěná podle ČSN 72 1157 (nyní nahrazena ČSN EN 1926). Pevnostní značka kamene je číslo odpovídající minimální požadované pevnosti v tlaku dle ČSN 721860. Posledním parametrem k získání $R_{ms,d}$ je průměrná pevnost malty podle ČSN 722430[16].

γ_{in}

Součinitel informace podle ČSN 730038. Umožňuje statikovi snížit hodnoty pevnosti v tlaku zdiva na stranu bezpečnou, pokud chybí dostatek informací o

konstrukci [4]. Například u masivních kamenných konstrukcí, kde není jasná skladba zdiva, se použije nejnižší hodnota 0,5. Součinitel informace může dosahovat maximální hodnoty 1,0.

γ_{rm}

Součinitel podmínek působení z hlediska celistvosti zdiva. Uvažuje vliv svislých a šikmých trhlin podle jejich šířek [4]. Jeho hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2.4-3.

γ_{mm}

Dílčí součinitel spolehlivosti zdiva. Vyjadřuje vliv vlhkosti zdiva a jakosti vazby [4]. Hodnoty uvádí tabulka 2.4-2.

Tabulka 2.4-1 Výpočtové pevnosti zdiva v dostředném a mimostředném tlaku v MPa při porušení zdiva v kusových stavivech nebo ve spárách. [16]

Zdivo		Výška jedné ložné vrstvy h_1	Třída jakosti kamene	Pevnostní značka kamene	Výpočtové pevnosti zdiva na maltu označenou podle ČSN 722430						
					150	100	50	25	10	4	0
				mm	-	-	MPa				
kamenné	z čistých kvádrů *	$h_1 > 600$	I	110	13,8			13,3	12,3	10,9	9,4
			II	80	11,4			10,9	9,9	8,6	7,3
			III	40	3,5			6,2	5,7	5,1	4,4
	řádkové čisté *	$h_1 > 150$	I	110	6,3	6,0	5,4	5,1	4,8	4,2	3,9
			II	80	5,1	4,8	4,5	4,2	3,6	3,3	3,0
			II	40	3,2	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0	1,7
	řádkové hrubé *		I	110	4,7	4,5	4,0	3,8	3,6	3,2	2,9
			II	80	3,8	3,6	3,4	3,2	2,7	2,5	2,2
			III	40	2,3	2,1	1,9	1,8	1,7	1,5	1,3
	lomové a kyklop- ské *		I	110	-	2,2	1,6	1,0	0,7	0,5	0,3
			II	80	-	2,0	1,4	0,9	0,6	0,4	0,2
			III	40	-	1,3	1,0	0,7	0,5	0,3	0,1

Pozn. : * = podle normy ČSN 732310

Nevyplněná políčka značí, že tyto druhy zdiva se neprovádějí.

Tabulka 2.4-2 Hodnoty součinitele γ_{mm} [4]

Vazba	Vlhkost zdiva		
	5%	12%	20%
dobrá	1,6	1,8	2,0
průměrná	1,8	2,1	2,4
špatná	2,1	2,4	2,6

Tabulka 2.4-3 Hodnoty součinitele γ_{rm} [4]

Šířka trhliny v mm		γ_{rm}
svislé trhliny	šikmé trhliny	
0,1-0,6	0,1-1,2	0,95-0,85
0,7-2,0	1,3-4,0	0,84-0,7
>2,0	>4,0	<0,7

2.4.2 Pevnost zdiva dle ČSN EN 1996-1-1[17]

Eurokód pro zděné konstrukce nahrazuje původní ČSN 731101 Navrhování zděných konstrukcí. Charakteristická pevnost zdiva v tlaku f_k [N/mm²] se určí podle rovnice 2.4.2 [17].

$$f_k = K \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta \quad (2.4.2)$$

K

Hodnoty součinitele K podle ČSN EN 1996-1-1 uvádí tabulka 2.4-4. Vzhledem k tomu, že v případě historických kamenných konstrukcí je použití lehké malty nebo malty pro tenké spáry vyloučeno, nabývá součinitel K vždy hodnoty 0,45. V případě, že se ve zdivu vyskytuje podélná spára částečně nebo po celé délce rovnoběžná s lícem stěny, je nutné tuto hodnotu vynásobit ještě 0,8 [17].

Tabulka 2.4-4 Součinitel K pro zdivo s obvyčejnou maltou, maltou pro tenké spáry a lehkou maltou [17]

Zdící prvky		Obyčejná malta	Malta pro tenké spáry (tl. spáry od 0,5 mm do 3 mm)	Lehká malta objemové hmotnosti	
				$600 \leq \rho_d \leq 800$ kg/m ³	$800 < \rho_d \leq 1500$ kg/m ³
Pálené	Sk. 1	0,55	0,75	0,30	0,40
	Sk. 2	0,45	0,70	0,25	0,30
	Sk. 3	0,35	0,50	0,20	0,25
	Sk. 4	0,35	0,35	0,20	0,25
Vápenopískové	Sk. 1	0,55	0,80	-	-
	Sk. 2	0,45	0,65	-	-
Betonové	Sk. 1	0,55	0,80	0,45	0,45
	Sk. 2	0,45	0,65	0,45	0,45
	Sk. 3	0,40	0,50	-	-
	Sk. 4	0,35	-	-	-
Pórobetonové	Sk. 1	0,55	0,80	0,45	0,45
Z umělého kamene	Sk. 1	0,45	0,75	-	-
Pravidelné zdící prvky z přírodního kamene	Sk. 1	0,45	-	-	-

Pozn.: Nevyplněná políčka značí, že daná kombinace malty a zdících prvků se nepoužívá

α

Exponent záviselý na tloušťce ložných spár a druhu použité malty. Pro nevyztužené zdivo s obvyčejnou nebo lehkou maltou $\alpha = 0,7$. Pro nevyztužené zdivo s maltou pro tenké spáry $\alpha = 0,85$ [17].

β

Exponent záviselý na druhu malty. Pro obvyčejnou maltu $\beta = 0,3$, pro maltu lehkou a maltu pro tenké spáry $\beta = 0$ [17].

f_b

Normalizovaná průměrná pevnost v tlaku v N/mm² zdících prvků ve směru tlaku působícího v konstrukci podle ČSN EN 772-1. Při použití obvyčejné malty pro zdění

se neuvažuje větší než 75 N/mm^2 [17].

f_m

Pevnost malty pro zdění v tlaku v N/mm^2 . Při použití obyčejné malty pro zdění se neuvažuje větší než 20 N/mm^2 nebo $2 f_b$ [17].

Návrhová pevnosti zdiva v tlaku se podle ČSN EN 1996-1-1 určí jako podíl charakteristické hodnoty a součinitele γ_m . Jde o dílčí součinitel zdiva určený podle rovnice 2.4.3 [9].

$$\gamma_m = \gamma_{m1} \cdot \gamma_{m2} \cdot \gamma_{m3} \cdot \gamma_{m4} \quad (2.4.3)$$

γ_{m1}

Základní hodnota dílčího součinitele spolehlivosti, pro zděné konstrukce $\gamma_{m1} = 2,0$ [9].

γ_{m2}

Součinitel vlivu pravidelnosti vazby zdiva a míry vyplnění spár maltou. Pro zcela pravidelnou vazbu a dokonalé vyplnění spár se použije minimální hodnota $\gamma_{m2} = 0,85$. Maximální hodnota součinitele γ_{m2} je 1,2 [9].

γ_{m3}

Součinitel vlivu zvýšené vlhkosti. Pro vlhkost zdiva v intervalu od 4% do 20% se γ_{m3} určí lineární interpolací mezi hodnotami 1,0 až 1,25 [9].

γ_{m4}

Součinitel vlivu svislých a šikmých trhlin ve zdivu. V případě neporušeného zdiva bez trhlin se použije minimální hodnota $\gamma_{m4} = 1,0$. Maximální hodnota součinitele γ_{m4} je 1,4 [9].

2.4.3 Srovnání

Dva nejzásadnější rozdíly mezi již neplatnou ČSN 731101 a nyní aktuální ČSN EN 1996-1-1 jsou v zohlednění typu zdiva (kvádrové, řádkové...) v první jmenované a nulová hodnota pevnosti v tlaku zdiva s maltou pevnosti 0 MPa v Eurokódu.

Problematika nulové pevnosti zdiva vychází z podstaty vzorce 2.4.2. Jakmile je

maltě přiřazena pevnost 0,0 MPa, pevnost zdících prvků je násobena nulou a výsledek je opět pouze 0,0 MPa. Tato skutečnost se řeší tak, že i velmi degradované maltě se přiřadí alespoň minimální pevnost, např. 0,05 MPa, aby bylo docíleno nenulového výsledku.

Pro ilustraci vlivu typu zdiva na výslednou návrhovou pevnost zdiva byly vytvořeny tabulky 2.4-5 a 2.4-6. Podle postupu uvedeného v ČSN 731101 byla vypočtena návrhová pevnost pro zdivo z čistých kvádrů jakostní třídy I s pevnostní značkou 110 a pro zdivo z lomového kamene stejné jakostní třídy i pevnostní značky. Pevnost zdiva v tlaku byla stanovena pro různé pevnosti malty.

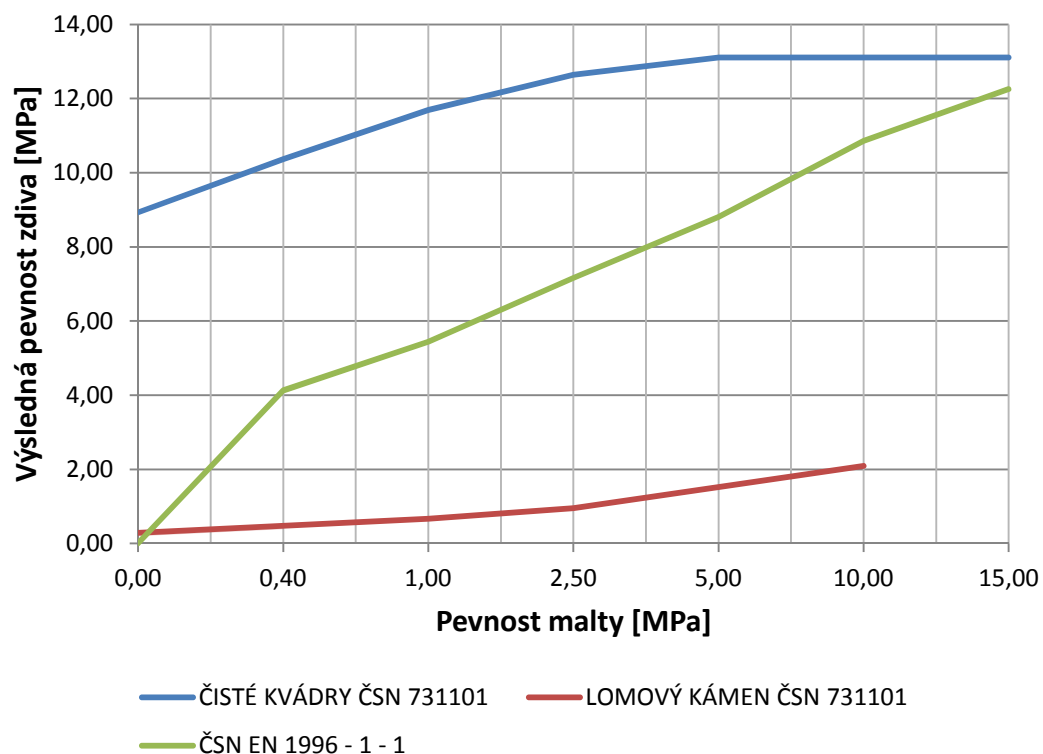
Při výpočtu podle Eurokódu nebyl typ zdiva zohledněn, neboť Eurokód se jím vůbec nezabývá. Vzhledem k tomu, že horní mez normalizované průměrné pevnosti v tlaku f_b je omezena 75 N/mm^2 , byla pro horniny vyšší pevnosti (110 N/mm^2) dosazena pouze tato hodnota.

V první tabulce jsou uvedeny hodnoty návrhové pevnosti zdiva v nejprůzračnějším případě – tedy zdiva podrobně prozkoumaného, s vlhkostí do 4%, dobrou vazbou s dokonalým vyplněním spár a bez trhlin. Druhá tabulka ukazuje výsledky výpočtu za předpokladu co možná nejhorších podmínek – zdiva neprozkoumaného, s vysokou vlhkostí (20%), špatnou vazbou a množstvím trhlin.

Tabulka 2.4-5 Návrhová pevnost zdiva s pevnostní značkou 110, nejlepší možné podmínky

Norma	Zdivo	Pevnost malty v tlaku [MPa]						
		15,00	10,00	5,00	2,50	1,00	0,40	0,00
ČSN 731101	z čistých kvádrů	13,11	13,11	13,11	12,64	11,69	10,36	8,93
	lomové a kyklopské		2,09	1,52	0,95	0,67	0,48	0,29
ČSN EN 1996-1-1	nerozlišeno	12,25	10,85	8,81	7,16	5,44	4,13	0,00

Graf 2.4-1 Návrhová pevnost zdiva s pevnostní značkou 110, nejlepší možné podmínky



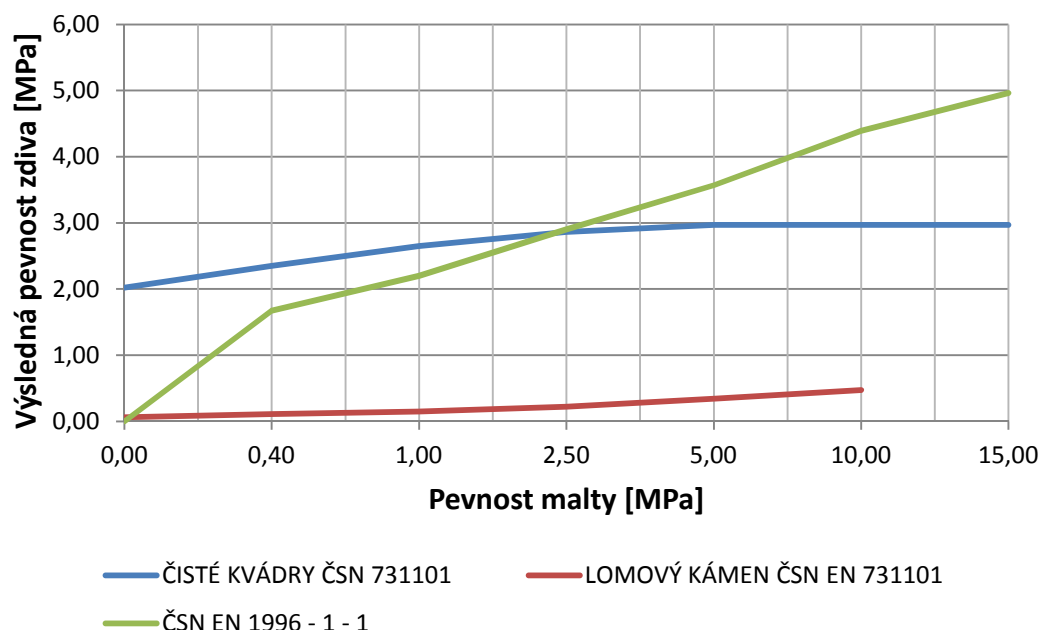
Použité hodnoty:

- $R_{ms,d}$: Podle tab. 2.4-1
- $\gamma_{inf} = 1,0$; $\gamma_{mm} = 1,6$; $\gamma_{rm} = 0,95$
- $K = 0,45$; $\alpha = 0,7$; $\beta = 0,3$; $f_b = 75$ MPa
- $\gamma_1 = 2,0$; $\gamma_2 = 0,85$; $\gamma_3 = 1,0$; $\gamma_4 = 1,0$

Tabulka 2.4-6 Návrhová pevnost zdiva s pevnostní značkou 110, nejhorší možné podmínky

		Pevnost malty v tlaku [MPa]						
Norma	Zdivo	15,00	10,00	5,00	2,50	1,00	0,40	0,00
ČSN 731101	z čistých kvádrů	2,97	2,97	2,97	2,86	2,65	2,35	2,02
	lomové a kyklopské		0,47	0,34	0,22	0,15	0,11	0,06
ČSN EN 1996-1-1	nerozlišeno	4,96	4,39	3,57	2,90	2,20	1,67	0,00

Graf 2.4-2 Návrhová pevnost zdiva s pevnostní značkou 110, nejhorší možné podmínky



Použité hodnoty:

- $R_{ms,d}$: Podle tab. 2.4-1
- $\gamma_{inf} = 0,5$; $\gamma_{mm} = 2,6$; $\gamma_{rm} = 0,7$
- $K = 0,45$; $\alpha = 0,7$; $\beta = 0,3$; $f_b = 75$ MPa
- $\gamma_1 = 2,0$; $\gamma_2 = 1,2$; $\gamma_3 = 1,25$; $\gamma_4 = 1,4$

Značný rozdíl ve výsledné pevnosti zdiva z čistých kvádrů podle staré a nové normy viditelný v grafu 2.4-1 je patrně způsoben omezením horní meze f_b v Eurokódu. Ten v případě nejlepších možných podmínek hodnotí zdivo přísněji. V případě nejhoršího možného stavu se obě hodnoty nachází již v menším rozmezí, vlivem použití zmenšujících koeficientů. Pro malty nižších pevností (do cca 2,5 MPa) vychází podle Eurokódu nižší pevnosti zdiva. Po dosažení této pevnosti malty, kdy se obě hodnoty přibližně rovnají, je naopak přísnější ČSN 731101, která za daných podmínek nepřipouští návrhovou pevnost v tlaku zdiva vyšší než 2,97 MPa.

V případě zdiva z lomového kamene nastává problém, protože pevnost vypočtená podle Eurokódu je až čtyřikrát vyšší, než podle staré normy. Vzhledem k tomu, že Eurokód typ zdiva vůbec nezohledňuje a navíc v tabulce 2.4-4 je součinitel K uveden jen pro „Pravidelné zdící prvky z přírodního kamene“, se dá usuzovat, že pro kamenné konstrukce jiné než z čistých kvádrů je použitelnost Eurokódu poněkud diskutabilní.

3 PŘEDBĚŽNÝ PRŮZKUM KAMENNÉHO MOSTU V DOBROMILICÍCH

3.1 PŘEDBĚŽNÁ PROHLÍDKA

Úvod

Obec Dobromilice se nachází v Olomouckém kraji, 12 km jižně od Prostějova. Obcí protéká říčka Brodečka, kterou překlenuje kamenný most patrně již ze 16. století. [21] Po necitlivém zásahu z 80. let minulého století, kdy došlo k „ošetření“ konstrukce vrstvou torkretu, je nyní most ve stavu vyžadujícím rekonstrukci. (obr. 3.1-1) Záměrem je obnovit původní vzhled mostu a zároveň zabezpečit jeho další fungování.

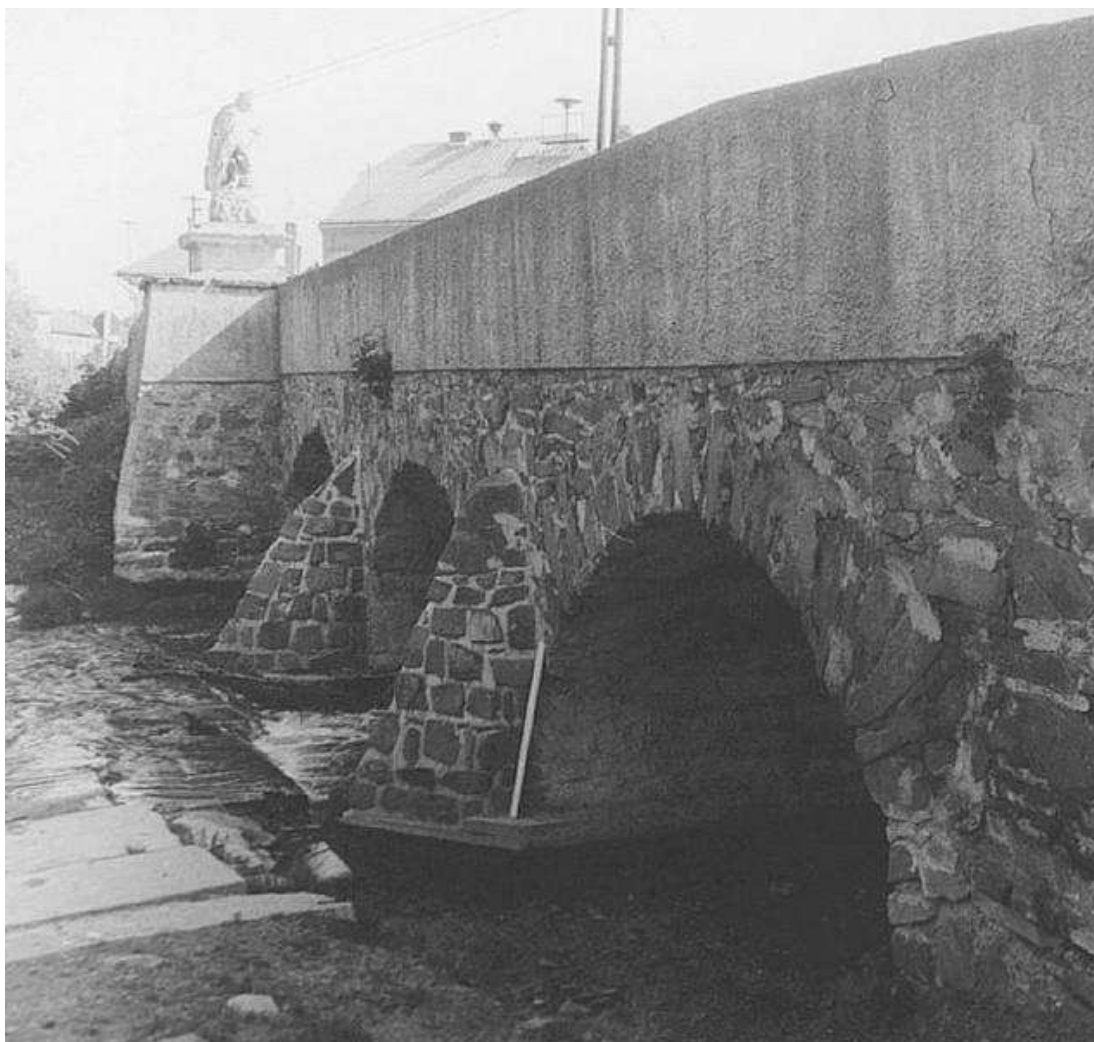


Obrázek 3.1-1 Současný stav - celkový pohled na povodní stranu [39]

Popis objektu

Most ze smíšeného zdiva (kámen a cihly) má tři oblouky o rozpětí 4 m a vzepětí 2 m. Světlá šířka mostu jsou 4 m [21]. Na návodní straně jsou pilíře vyzděny do ledolamů (obr. 3.1-2). Přes most vede komunikace III. třídy spojující obce Pivín a

Doloplazy. Na první pohled je patrný celkově zanedbaný stav mostu, projevující se místy odpadávajícím torkretem, degradací cihel v parapetním zdivu, zarostlými odvodňovacími otvory aj. (obr. 3.1-3).



Obrázek 3.1-2 Stav před nanesením torkretu - návodní strana [37]



Obrázek 3.1-3 Vlevo: odpadnutý torkret, vpravo: zarostlý odvodňovací otvor [39]

Klenba

Z dobových fotografií (3.1-2) lze usuzovat, že klenba je celá kamenná. Její výška se odhaduje okolo 0,5 m, a to jak podle fotografií, tak i podle výšky umístění odvodňovacího otvoru. Z důvodu zjištění skladby záhozu klenby jsou navrženy dva jádrové vývrty šikmo do klenby, jejichž hloubka by měla být alespoň 0,8 m. Za klenbou se předpokládá násyp nebo vyzdřená rovinanina.

Stavební kámen

Jedná se o moravskou drobu, patrně z blízkého lomu v Hradčanech nebo vzdálenějšího v Koběřicích (obr.2.1-2). Jak je již zmíněno v kapitole 2.1.1, droba je sediment dosahující mnohdy velmi vysokých pevností. Problémem mohou být pro sedimenty typické plochy nespojitosti, kde při vniknutí vody a jejím následném zmrznutí může dojít k porušení kamene. Proto je zapotřebí (podobně jako u cihelného zdiva) provést zkoušky kamene z více hloubkových úrovní.

Dále je vhodné stanovit poměr mezi pevností v tlaku vysušeného a nasyceného kamene – tzv. ukazatel změknutí. Pro stanovení pevnosti v tlaku ve směru totožném se směrem uložení v konstrukci by bylo nezbytné provést vývrty o průměru 75 mm a následně vyrobít zkušební krychle o hraně 50 mm. Z důvodu minimalizace zásahu do konstrukce je ale vhodnější použít zkušební tělesa tvaru válce nebo krychle o průměru a výšce 50 mm, což umožní zmenšení průměru vývrtů na 50 mm.



Obrázek 3.1-4 Droba se zbytky omítky pod torkretem a degradovanou maltou ve spárách
[40]

Malta

Vzhledem k předpokládané vysoké pevnosti kamene se dá říci, že pro celkovou únosnost konstrukce bude určující míra vyplnění spár maltou a kvalita malty samotné. Dle prvotní prohlídky se dá očekávat kvalita velmi nízká, zvláště těsně pod torkretem (obr. 3.1-4). Aplikace této betonové vrstvy vedla k situaci, kdy materiál těsně pod ní je prakticky nasycen vodou, což je patrně důvodem jeho degradace.

Vývrty by měly ověřit oba tyto aspekty (kvalitu malty a vyplnění spár) v různých hloubkách konstrukce.

Pilíře

Při prvotní prohlídce bylo zjištěno, že zvláště na povodní straně pilíře nemají prakticky žádnou svislou část dřívku - klenba totiž začíná těsně nad vodou. Na obr. 3.1-5 je vyznačeno místo nad stykem dvou kleneb, kde je vhodné provést jádrový vývrt ke zjištění skladby klenby.



Obrázek 3.1-5 Povodní strana - klenba začíná těsně nad hladinou. Šipka vyznačuje místo pro vývrt. [39]

Torkret

Na první pohled je jasné, že úprava torkretem je pro konstrukci nevhodná. A to jak z estetického hlediska, tak i z hlediska trvanlivosti samotné konstrukce. Neprodyšná vrstva stříkaného betonu zadržuje vodu, což vede jednak k popraskání torkretu vlivem zamrzání vody (obr.3.1-6) a také má za následek značné zvlhnutí materiálu těsně pod torkretem. Obrázek 3.1-7 zachycuje vlhkou maltu v oblasti parapetního zdiva, což dokazuje, že zvlhnutí se týká celé konstrukce, nejen částí v bezprostředním styku s vodotečí.

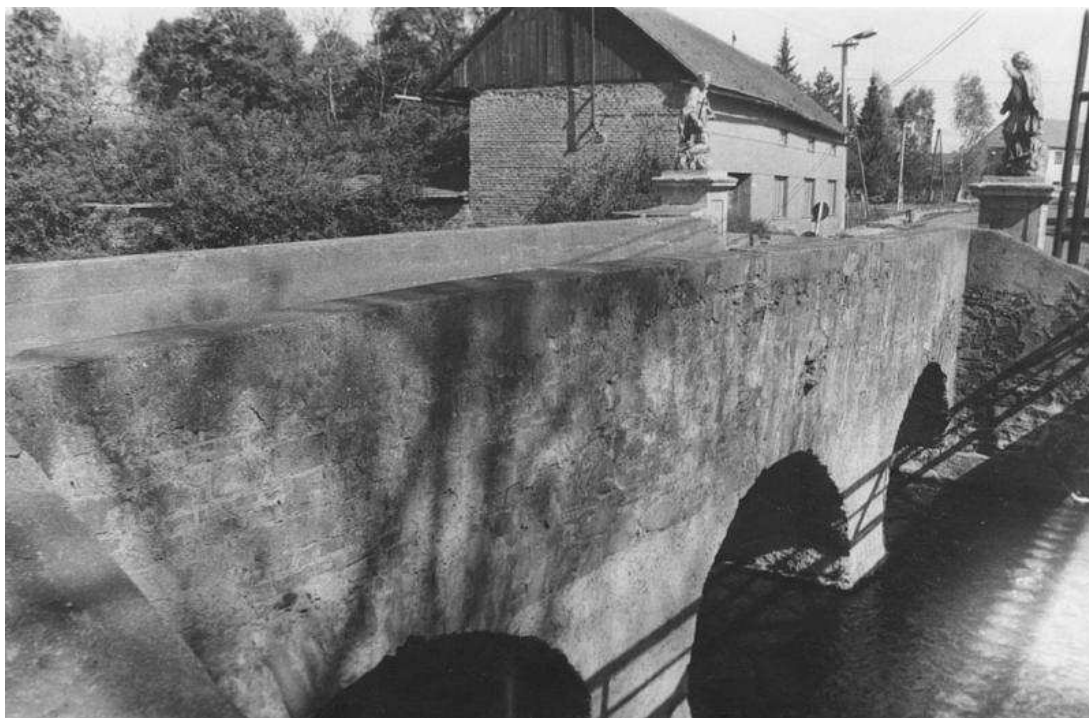


Obrázek 3.1-6 Trhliny v torkretu vzniklé zamrzáním vody [39]



Obrázek 3.1-7 Zavlhlá omítka v parapetním zdivu [39]

Vzhledem k tomu, že jedním z cílů rekonstrukce je i odstranění torkretové vrstvy, je potřeba zjistit, jaká je její přídržnost ke kameni. Z fotografií (obr.3.1-2 a obr.3.1-8) se dá usuzovat, že most byl původně celý omítnut, kromě návodní strany pod parapetem.



Obrázek 3.1-8 Povodní strana mostu před použitím torkretu. Pod omítkou je vidět obrys zdiva klenby i parapetu. [37]

Je otázkou, zda před aplikací torkretu došlo k odstranění omítky nebo byla ponechána. V případě odstraňování torkretu přímo z kamene totiž hrozí jeho mechanické poškození. Pro objasnění této problematiky bude použita metoda postupného odkrývání vrstev.

Pro přibližné určení nákladů na odstranění torkretové vrstvy je také nutné odhadnout, jak velká část její plochy již ztratila soudržnost s konstrukcí mostu. K tomuto účelu je nejvhodnější využít akustické trasovací metody – části, které již nedrží zní při poklepu dutě. Ve sporných místech je vhodné provést ověření mocnosti a soudržnosti různých vrstev jako při stavebně – historickém průzkumu omítek.

Parapetní zdivo

Parapetní zdivo je velmi rozmanité. Nejen že vedle cihel se v něm vyskytují i kameny (opět droba, obr. 3.1-9), ale samotné cihly jsou různých rozměrů a stářích.

V horní části převládají plné pálené cihly se zvláštní vazbou, patrnou na obr. 3.1-10. Cihly jsou postaveny na kant, vždy čtyři příčně a k nim střídavě z vnitřní a vnější strany jedna podélně. Obrázek 3.1-11 ukazuje nekvalitně provedené nahrazení moderními cihlami (300mm x 150mm x 70mm), kdy tato vazba nebyla dodržena. Kromě průvrtů parapetní zdi by bylo proto vhodné provést i průzkum k určení stáří cihel z jednotlivých částí parapetu.



Obrázek 3.1-9 Smíšené parapetní zdivo [40]



Obrázek 3.1-10 Vazba historických cihel [39]



Obrázek 3.1-11 Moderní cihly bez snahy o původní vazbu [39]

3.2 NÁVRH PODROBNÉHO PRŮZKUMU

Na základě skutečností zjištěných během předběžné prohlídky byly navrženy následující postupy:

- Metodou akustického trasování popsat oblasti, kde torkret již ztratil přídržnost ke kameni a vyjádřit jejich procentuální poměr k celkové ploše povrchu mostu.
- Popsat orientačně typy a stáří použitých cihel v parapetním zdivu.
- Pomocí metody postupného odkrývání vrstev zjistit skladbu a mocnosti jednotlivých vrstev. Popsat přídržnost torkretu a omítky ke kameni na povodní i návodní straně v oblasti parapetních zdí, kleneb i pilířů.
- Provést celkem 11 jádrových vývrtů podle obr. 3.2-1: do parapetní stěny na návodní i povodní straně, v oblasti styku dvou kleneb na povodní straně podle obr. 3.1-5, do každé klenby a do každého pilíře. Vhodné by bylo také provést průvrt mostovkou, bude – li to možné. Průměr vývrtů do kamenných částí bude 50 mm, do cihelných částí 75 mm.
- Provést laboratorní zkoušky kamene, cihel a malty z různých hloubek.



Obrázek 3.2-1 Návrh provedení jádrových vývrtů, pohled na návodní stranu

Body 1-4: Místa vývrtů do pilířů

Body 5-7: Místa šikmých vývrtů do kleneb

Bod 8: Místo průvrtu poprsní zdi

Bod 9: Místo průvrtu mostovkou

Další dva vývrty do poprsní zdi budou provedeny z povodní strany.

4 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo objasnit problematiku průzkumů a hodnocení konstrukcí z kamene. K těm je zde přístupováno jako ke specifickému druhu konstrukcí zděných. Odlišnosti vyplývají z přírodního původu stavebního materiálu a také z mnohdy značného stáří kamenných konstrukcí.

Při průzkumu kamenné konstrukce je klíčové správně určit stavební materiál – druh horniny. Od něj se odvíjí přístup k celé konstrukci. Zatímco kompaktní horniny typu žuly nebo droby jsou charakteristické stálostí svých fyzikálně mechanických vlastností, materiály pórovitější, například pískovce, snadněji podléhají degradaci – zejména vlivem působení vlhkosti. S ohledem na tyto skutečnosti je třeba určit počet odebraných vzorků a množství laboratorních zkoušek, které je u druhé skupiny hornin vyšší. Rovněž je vhodné znát lokalitu těžby použitého kamene, neboť materiálové vlastnosti stejného druhu horniny, avšak z jiné oblasti, mohou být rozdílné, zejména v případě sedimentů.

V rámci teoretické části byl proveden petrografický rozbor hornin používaných na našem území a dále zde byly uvedeny příklady konstrukčních systémů v jednotlivých slohových obdobích.

Následoval popis postupu hodnocení existujících konstrukcí podle ČSN ISO 13822 a jeho aplikace na problematiku kamenných konstrukcí. Dále byly popsány metodiky nejdůležitějších laboratorních zkoušek kamene a porovnán výpočet pevnosti v tlaku zdiva podle již neplatné ČSN 731101 a aktuálního Eurokódu EC6.

V praktické části jsou zpracovány výsledky prohlídky konkrétní konstrukce z kamene – kamenného klenbového mostu o třech polích v Dobromilicích u Prostějova. Na základě prvotní prohlídky byl proveden návrh podrobného průzkumu.

Všechny cíle bakalářské práce byly splněny. Předpokládá se, že na podrobném průzkumu a rekonstrukci mostu v Dobromilicích se bude pracovat i v rámci diplomové práce.

5 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ŠKABRADA, J., *Konstrukce historických staveb*. První vydání – dotisk. Praha: Argo, 2003. 391 s. ISBN 80-7203-548-7
- [2] JUNDROVSKÝ, R., TICHÝ, E. *Kamenictví: Tradice z pohledu dneška*. Druhé, upravené a doplněné vydání Praha: Grada Publishing 2001. 238 s. ISBN 80-247-9055-6.
- [3] HOLICKÝ, M., a kol. *Příručka pro hodnocení existujících konstrukcí*. Praha: Česká technika- nakladatelství ČVUT, 2007. 175 s. ISBN 978-80-01-03790-4. Dostupné z WWW: <www.konstrukce.cvut.cz>.
- [4] PUME, D.; ČERMÁK, F. a kol. *Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí*. Praha: Arch, 1993.
- [5] Svaz kameníků a kamenosochařů v ČR: *Tajemství českého kamene*, DVD, 2008
- [6] POSPÍŠÍL, P. *Geologie, základy petrologie*. Studijní opora, VUT v Brně FAST, 2004
- [7] POSPÍŠÍL, P. *Geologie, základy regionální geologie České republiky*. Studijní opora, VUT v Brně FAST, 2004
- [8] HOBST, L., ADÁMEK, J., CIKRLÉ, P., SCHMID P. *Diagnostika stavebních konstrukcí*. Studijní opora, VUT v Brně FAST, 2005
- [9] ČSN ISO 13 822: *Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí*, srpen 2005
- [10] ČSN 73 3251: *Navrhování konstrukcí z kamene*, 17.1.1986
- [11] ČSN 72 1800: *Přírodní stavební kámen pro kamenické výrobky – Technické požadavky*, 2.3.1987
- [12] ČSN EN 1936: *Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení měrné a objemové hmotnosti a celkové a otevřené pórovitosti*, leden 2000
- [13] ČSN EN 13755: *Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení nasákavosti vodou za atmosférického tlaku*, listopad 2002
- [14] ČSN EN 1926: *Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení pevnosti v prostém tlaku*, červenec 2007
- [15] ČSN EN 14580: *Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení statického modulu pružnosti*, prosinec 2005
- [16] ČSN 731101: *Navrhování zděných konstrukcí*, 17.9.1980
- [17] ČSN EN 1996-1-1: *Eurokód: Navrhování zděných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce*, květen 2007
- [18] <http://kz-sluknov.cz/nase-nabidka/materialy/>, 15.3

- [19] http://dekoracnikameny.geology.cz/index_cz.pl?tt=f&CUR_=40&sumazazam_=164&SLf_=Search&photo=, 15.3
- [20] http://dekoracni-kameny.geology.cz/dk_cz.pl?tt=s&iddk_=10146, 15.3
- [21] <http://libri.cz/databaze/mosty/heslo.php?id=204>, 11.5
- [22] http://cs.wikipedia.org/wiki/Rotunda_svat%C3%A9_Kate%C5%99iny, 15.3
- [23] http://cs.wikipedia.org/wiki/Bazilika_svat%C3%A9ho_Prokopa, 15.3
- [24] <http://kurz.geologie.sci.muni.cz/kapitola7.htm>, 11.5.
- [25] <http://www.kamenolomjavorka.cz/galerie>, 11.5.
- [26] <http://msenskepiskovce.cz/galerie/displayimage.php?album=5&pos=5>, 11.5.
- [27] http://www.kamen.cz/index.php?hash=7dd26f06a0a24b170722b98c90630e0e&sent=5&ID_zaznamy=6&show=124, 11.5.
- [28] <http://www.pozemni-stavitelstvi.wz.cz/pos13.php>, 11.5
- [29] <http://curiavitkov.cz/prace63.html>, 11.5
- [30] http://cestovani.idnes.cz/foto.aspx?c=A091029_172332_igcechy_tom&strana=&foto1=TOM2ec570_01.jpg&iframe=1, 11.5
- [31] <http://m.mycentrope.com/cs/home/440/petrov-klidne-misto-uprostred-brna>, 11.5
- [32] http://cs.wikipedia.org/wiki/Bazilika_svat%C3%A9ho_Prokopa, 11.5
- [33] http://cs.wikipedia.org/wiki/Rotunda_svat%C3%A9_Kate%C5%99iny, 11.5
- [34] <http://www.pojdmenavylet.cz/hrad-pernstejn/>, 11.5
- [35] <http://divci-hrad.ceskehory.cz/>, 11.5
- [36] http://encyklopedie.brna.cz/home-mmb/?acc=profil_ulice&load=1876, 11.5
- [37] <http://libri.cz/databaze/mosty/heslo.php?id=350>, 11.5
- [38] <http://foto.bmhd.cz/foto.php?2503>, 11.5
- [39] Fotoarchiv: Ing. Petr Cikrle, Ph.D.
- [40] Fotoarchiv: Pavla Šarounová

6 SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 2.1-1 BAREVNÉ VARIANTY ŽULY. VLEVO: LIBERECKÁ, VPRAVO:	
ŽELEZNOBRODSKÁ [19]	13
OBRÁZEK 2.1-2 DROBA. VLEVO: PŘIROZENÉ ULOŽENÍ V LOMU [39], VPRAVO: STARŠÍ	
VZOREK [24]	16
OBRÁZEK 2.1-3 BLOKOVÁ STAVBA ČESKÉHO MASÍVU [7]	21
OBRÁZEK 2.1-4 PÍSKOVCE: VLEVO: BĚLOHRADSKÝ [25], UPROSTŘED: MŠENSKÝ [26],	
VPRAVO: TĚŠÍNSKÝ [27]	22
OBRÁZEK 2.1-5 KYKLOPSKÉ (VLEVO) A HAKLÍKOVÉ ZDIVO (VPRAVO) [28]	23
OBRÁZEK 2.1-6 DETAIL SMÍŠENÉHO ZDIVA, ZŘÍCENINA DÍVČÍHO HRADU, PAVLOV [40]....	24
OBRÁZEK 2.1-7 DETAIL OPUS SPICATUM - MOST DO KNÍŽECÍHO PALÁCE NA VYŠEHRADĚ Z	
11. STOLETÍ [29]	25
OBRÁZEK 2.1-8 PŮVODNÍ ZDIVO Z NEOMÍTNUTÉ HRUBÉ OPUKY, ŘEVNIČOV, OKRES	
RAKOVNÍK [30]	26
OBRÁZEK 2.1-9 JASNĚ PATRNÉ NÁROŽNÍ ARMATURY NA KATEDRÁLE SV. PETRA A PAVLA V	
BRNĚ [31]	28
OBRÁZEK 2.1-10 ROTUNDA SV. KATEŘINY [33] A BAZILIKA SV. PROKOPA [32]	28
OBRÁZEK 2.1-11 HRAD PERNŠTEJN [34]	29
OBRÁZEK 2.1-12 DÍVČÍ HRAD [40]	30
OBRÁZEK 2.1-13 VÝSTAVBA PRODLOUŽENÍ ULICE HUSOVA V BRNĚ [36]	30
OBRÁZEK 2.1-14 KAMENNÝ VIADUKT V CHRILICÍCH [37]	31
OBRÁZEK 2.1-15 VIADUKT NA KŘENOVÉ V BRNĚ [38]]	31
OBRÁZEK 2.2-1 VÝVOJOVÝ DIAGRAM POSTUPU HODNOCENÍ EXISTUJÍCÍCH KONSTRUKCÍ [9]	
.....	32
OBRÁZEK 2.3-1 ZATĚŽOVACÍ-ČASOVÝ DIAGRAM PRO STANOVENÍ STATICKÉHO MODULU	
PRUŽNOSTI (HORNINA S PEVNOSTÍ 60 MPa) [15]	45
OBRÁZEK 3.1-1 SOUČASNÝ STAV - CELKOVÝ POHLED NA POVODNÍ STRANU [39]	54
OBRÁZEK 3.1-2 STAV PŘED NANESENÍM TORKRETU - NÁVODNÍ STRANA [37]	55
OBRÁZEK 3.1-3 VLEVO: ODPADNUTÝ TORKRET, VPRAVO: ZAROSTLÝ ODVODŇOVACÍ OTVOR	
[39]	55
OBRÁZEK 3.1-4 DROBA SE ZBYTKY OMÍTKY POD TORKRETEM A DEGRADOVANOU MALTOU	
VE SPÁRÁCH [40]	56
OBRÁZEK 3.1-5 POVODNÍ STRANA - KLENBA ZAČÍNÁ TĚSNĚ NAD HLADINOU. ŠÍPKA	
VYZNAČUJE MÍSTO PRO VÝVRT. [39]	57

OBRÁZEK 3.1-6 TRHLINY V TORKRETU VZNIKLÉ ZAMRZÁNÍM VODY [39].....	58
OBRÁZEK 3.1-7 ZAVLHLÁ OMÍTKA V PARAPETNÍM ZDIVU [39].....	58
OBRÁZEK 3.1-8 POVODNÍ STRANA MOSTU PŘED POUŽITÍM TORKRETU. POD OMÍTKOU JE VIDĚT OBRYŠ ZDIVA KLENBY I PARAPETU. [37]	59
OBRÁZEK 3.1-9 SMÍŠENÉ PARAPETNÍ ZDIVO [40]	60
OBRÁZEK 3.1-10 VAZBA HISTORICKÝCH CIHEL [39]	61
OBRÁZEK 3.1-11 MODERNÍ CIHLY BEZ SNAHY O PŮVODNÍ VAZBU [39].....	61
OBRÁZEK 3.2-1 NÁVRH PROVEDENÍ JÁDROVÝCH VÝVRTŮ, POHLED NA NÁVODNÍ STRANU	62

7 SEZNAM TABULEK

TABULKA 2.1-1 INFORMATIVNÍ PRŮMĚRNÉ HODNOTY FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ VYBRANÝCH HORNIN [10]	19
TABULKA 2.1-2 TECHNICKÉ POŽADAVKY PRO PŘÍRODNÍ STAVEBNÍ KÁMEN [11]	20
TABULKA 2.4-1 VÝPOČTOVÉ PEVNOSTI ZDIVA V DOSTŘEDNÉM A MIMOSTŘEDNÉM TLAKU V MPA PŘI PORUŠENÍ ZDIVA V KUSOVÝCH STAVIVECH NEBO VE SPÁRÁCH. [16]	47
TABULKA 2.4-2 HODNOTY SOUČiniteLE Γ_{MM} [4]	48
TABULKA 2.4-3 HODNOTY SOUČiniteLE Γ_{RM} [4]	48
TABULKA 2.4-4 SOUČiniteL K PRO ZDIVO S OBYČEJNOU MALTOU, MALTOU PRO TENKÉ SPÁRY A LEHKOU MALTOU [17]	49
TABULKA 2.4-5 NÁVRHOVÁ PEVNOST ZDIVA S PEVNOSTNÍ ZNAČKOU 110, NEJLEPŠÍ MOŽNÉ PODMÍNKY	51
TABULKA 2.4-6 NÁVRHOVÁ PEVNOST ZDIVA S PEVNOSTNÍ ZNAČKOU 110, NEJHORŠÍ MOŽNÉ PODMÍNKY	52

8 SEZNAM GRAFŮ

GRAF 2.4-1 NÁVRHOVÁ PEVNOST ZDIVA S PEVNOSTNÍ ZNAČKOU 110, NEJLEPŠÍ MOŽNÉ PODMÍNKY	52
GRAF 2.4-2 NÁVRHOVÁ PEVNOST ZDIVA S PEVNOSTNÍ ZNAČKOU 110, NEJHORŠÍ MOŽNÉ PODMÍNKY	53